

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Électrique

N° d'ordre : M...../ GE /2025

## MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN ELECTROTHERNIQUE

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

*Addou Mohamed El Amine  
Benekka Abdallah*

#### Intitulé du sujet

**Étude et réalisation d'un vélo stationnaire produisant de l'électricité verte  
lors de la pratique d'exercices dans des lieux publics.**

Soutenu le 29/06/2025 devant le jury composé de :

Président :	Bekkouche Benaissa	Pr	Université de MOSTAGANEM
Examineur :	Larbi Beklaouz Hadj	MCB	Université de MOSTAGANEM
Encadrant :	SOUAG SLIMANE	MCB	Université de MOSTAGANEM

Année Universitaire 2024/2025

## REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous remercions Allah tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience durant toutes nos années d'étude. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont consentis afin que nous puissions terminer nos études.*

*Nous tenons à remercier notre encadrant*

*Dr. SOUAG SLIMANE pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au chef de département et à tous nos professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu et guidé durant nos études.*

*Et sans oublier le doyen de la faculté, et l'ex chef du département, qui nous ont aidés et ils étaient serviables.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## ABSTRACT:

In today's world, where energy needs are increasing and environmental concerns are growing, this thesis focuses on the design, modeling, and development of an innovative system: a stationary bicycle that generates electricity through physical activity in public spaces. The goal of the project is to combine energy production, public awareness, and practical use.

The main objective is to use human effort to create clean energy that can either be stored or used directly. The system integrates modern components such as the ESP32 microcontroller, RFID cards, and online monitoring using Google Sheets. Electricity is generated by a DC motor that is powered by pedaling. Additional components include a current sensor (ACS712) to measure power, a relay to manage energy flow, and a buzzer or screen to give feedback to the user.

Tests showed that a set of five bicycles could produce up to 15 kWh per day—enough to cover the basic electricity needs of a public space, such as lighting, cameras, phone charging stations, or electric scooters. Daily energy use in such a space was estimated at around 11.4 kWh, proving that the system is efficient and practical.

The use of RFID cards also allows each user to be identified, so their energy contribution can be tracked and displayed. This feature makes the experience more personal and motivating. The project is designed to be educational, environmentally friendly, and suitable for use in many places—cities, rural areas, schools, or events.

In conclusion, this work presents a simple yet useful idea that can be applied in many different settings. It shows how technology and creativity can be used to create helpful solutions while also encouraging people to think more carefully about energy use.

**Keywords:** green electricity, stationary bike, renewable energy, ESP32, RFID, current sensor, energy transition, public space, IoT.

## ملخص :

في عالمنا اليوم، حيث تزداد الحاجة إلى الطاقة وتزداد المخاوف البيئية، يركز هذا البحث على تصميم ونمذجة وتطوير نظام مبتكر: دراجة ثابتة تقوم بتوليد الكهرباء من خلال النشاط البدني في الأماكن العامة. يهدف المشروع إلى الجمع بين إنتاج الطاقة، التوعية المجتمعية، والاستخدام العملي.

الهدف الرئيسي هو الاستفادة من الجهد البشري لإنتاج طاقة نظيفة يمكن تخزينها أو استخدامها مباشرة. يعتمد النظام على مكونات حديثة مثل وحدة التحكم ESP32، وبطاقات التعريف RFID، ونظام مراقبة عبر الإنترنت باستخدام Google Sheets. يتم توليد الكهرباء بواسطة محرك تيار

مستمر يُدار عبر التبديل. ويشمل النظام أيضًا مستشعر تيار (ACS712) لقياس الطاقة المنتجة، ومرحل (relay) للتحكم في تدفق الطاقة، بالإضافة إلى منبه صوتي (buzzer) أو شاشة لعرض البيانات للمستخدم.

أظهرت الاختبارات أن خمس درجات ثابتة يمكنها إنتاج ما يصل إلى 15 كيلوواط/ساعة يوميًا، وهي كمية كافية لتغطية الاحتياجات الأساسية لمكان عام، مثل الإضاءة، كاميرات المراقبة، شواحن الهواتف، أو السكوترات الكهربائية. وقد قُدرت استهلاكات الطاقة اليومية في مثل هذا المكان بحوالي 11.4 كيلوواط/ساعة، مما يثبت أن النظام فعال وقابل للتطبيق.

كما تسمح بطاقات RFID بتحديد هوية كل مستخدم وتتبع مساهمته في إنتاج الطاقة، مما يجعل التجربة أكثر شخصية وتحفيزًا. وقد تم تصميم هذا المشروع ليكون تعليميًا، بيئيًا، وقابلًا للتنفيذ في أماكن متعددة مثل المدن، المناطق الريفية، المدارس أو الفعاليات العامة.

في الختام، يقدم هذا العمل فكرة بسيطة لكنها مفيدة، ويمكن تطبيقها في سياقات مختلفة. كما يوضح كيف يمكن استخدام التكنولوجيا والإبداع لتقديم حلول عملية، مع تشجيع الناس على التفكير الواعي في استهلاك الطاقة.

## الكلمات المفتاحية

مستشعر التيار، الانتقال الطاقوي، مكان عام، إنترنت الأشياء RFID، ESP32 الكهراء الخضراء، دراجة ثابتة، الطاقة المتجددة،

## Résumé :

Dans un monde où les besoins en énergie augmentent et où les questions environnementales prennent de plus en plus d'importance, ce mémoire porte sur la conception, la modélisation et la réalisation d'un système innovant : un vélo stationnaire capable de produire de l'électricité grâce à l'activité physique dans les espaces publics. L'objectif du projet est de combiner production d'énergie, sensibilisation du public et utilité pratique.

Le but principal est de transformer l'effort humain en énergie électrique propre, pouvant être stockée ou utilisée localement. Le système utilise des technologies modernes telles que la carte ESP32, le lecteur RFID et une interface de suivi en ligne via Google Sheets. L'électricité est produite par un moteur à courant continu actionné par le pédalage. Le système comprend également un capteur de courant (ACS712) pour mesurer l'énergie produite, un relais pour gérer l'alimentation, et un buzzer ou un écran LCD pour informer l'utilisateur.

Les essais ont montré qu'un groupe de cinq vélos pouvait produire jusqu'à 15 kWh par jour, ce qui est suffisant pour répondre aux besoins énergétiques d'un espace public équipé d'un éclairage LED, de caméras de surveillance, de bornes de recharge pour téléphones ou de trottinettes électriques. La consommation estimée était d'environ 11,4 kWh/jour, ce qui confirme que le système est viable.

L'intégration des cartes RFID permet d'identifier chaque utilisateur et de suivre sa contribution énergétique. Cela rend l'expérience plus interactive, motivante et personnalisée. Le projet propose une solution éducative et

Écologique, adaptée à différents environnements, qu'ils soient urbains ou ruraux.

En résumé, ce travail présente une idée simple, utile et facilement adaptable, qui permet de produire de l'énergie tout en incitant le public à adopter un comportement plus responsable face à la consommation électrique.

**Mots-clés** : électricité verte, vélo stationnaire, énergie renouvelable, ESP32, RFID, capteur de courant, transition énergétique, lieu public, IoT.

# Sommaire

## Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	2
I.1 Introduction : .....	5
I.2 Contexte énergétique mondial : .....	5
I.3 L'importance de l'électricité verte : .....	5
I.3.1 Une solution durable pour la transition énergétique : .....	6
I.3.2 Accessibilité et décentralisation de l'énergie : .....	6
I.3.3 Un levier de sensibilisation environnementale : .....	7
<b>I.3.4. Une opportunité pour les pays en développement</b> : .....	7
I.4 Définition du mobilier urbain : .....	7
I.5 Le mobilier urbain durable : .....	8
I.5.1 Objectifs .....	8
I.5.2 Exemples .....	8
I.6 Mobilier urbain intelligent : .....	8
I.6.1 Différents types de mobilier urbain intelligent .....	8
I.7 Intégration du projet dans la dynamique du mobilier urbain intelligent .....	9
I.8 Besoin d'accessibilité et de sensibilisation : .....	10
I.9 Présentation du projet : .....	10
I.10 Problématique : .....	10
I.11. Objectifs du projet : .....	11
I.12 Méthodologie adoptée : .....	11
I.13 Cadre d'innovation et impact attendu : .....	12
I.13 Une expérience personnalisée grâce à la carte RFID : .....	12
I.14. Conclusion : .....	14
.....	15
<b>CHAPITRE II :</b> .....	15
<b>DÉFINITION DU MATERIELS UTILISÉES</b> .....	15
II.1 Introduction : .....	16
II.2 Le régulateur de charge MLI (PWM) : .....	16
<b>II.3 Historique du régulateur de charge PWM</b> : .....	17
II.4 L'arrivée de la modulation PWM : .....	17
II.3 Principe de fonctionnement : .....	17
II-4 Avantages et inconvénients du PWM : .....	18
II-4-1 Avantages : .....	18
II-4-2 inconvénients : .....	18
II.5 Le Générateur à Courant Continu : .....	19
II.6 Principe de fonctionnement : .....	19
II.7 Composants principaux : .....	20

II.7.1 L'inducteur :	20
II.7.2 L'induit :	20
II.7.3 Le collecteur (ou commutateur) :	21
II.7.4 Les Balais :	21
II.8 Types de générateurs à courant continu :	21
II.8.1 Générateur à excitation indépendante :	21
II.8.2 Générateur à excitation shunt (ou dérivation) :	21
II.8.3 Générateur à excitation série :	22
II.8.4 Générateur à excitation composée :	22
II.9 Avantages et inconvénients du GCC :	23
II.9.1 Avantages :	23
II.9.2 inconvénients :	23
II.10 Applications du GCC :	23
II.10 batterie :	23
II.10.1 Fonctionnement détaillé d'une batterie :	24
II.10.2 Composants principaux d'une batterie :	24
II.11 Historique des batteries :	25
II.12 Types de batteries :	25
II.12.1 Batteries primaires :	25
II.12.3 Batteries secondaires :	26
II.13 Avantages et inconvénients des batteries :	28
II.13.1 Avantages :	28
II.13.2 inconvénients :	28
II.14 Développements de nouvelles technologies :	28
II.15 Enjeux environnementaux et recyclage :	29
II.16 Batteries et mobilité électrique :	29
II.17 Stockage de l'énergie renouvelable :	29
II.18 Conclusion :	30
<b>CHAPITRE III :</b>	31
.....	31
<b>MODELISATION MECANIQUE ET ELECTRIQUE DU PROTOTYPE.....</b>	31
III.1 Introduction :	32
III.2 Le logiciel SOLIDWORKS :	32
III.3 La Conception :	33
III.3.1 Le générateur DC dans SolidWorks :	33
III.3.2 L'inducteur (stator) dans SolidWorks :	34
<b>III.3.3 L'induit (rotor) dans SolidWorks :</b>	35
III.4 Le couvercle extérieur du générateur dans SolidWorks : protection, fixation et précision de conception.....	36
III.5 La roue dans SolidWorks : un élément de liaison et de mouvement à modéliser avec précision :	37
III.6 Les batteries dans SolidWorks : modélisation d'un composant clé dans les systèmes électriques :	38

III.7 Le régulateur de charge MLI (PWM) dans SolidWorks : modéliser un composant électronique à fort enjeu énergétique :	40
III.8 Le vélo stationnaire dans SolidWorks : entre ergonomie, mécanique et innovation	41
III.9 Modélisation finale de l'ensemble mécanique dans un espace public :	43
III.10 Modélisation Électrique dans Simulink / Matlab :	45
III.11 Objectif de la simulation.....	45
III.12 Schéma fonctionnel sous Simulink .....	46
.....	46
III.13 Résultats de simulation.....	46
III.14 Simulation avec Automation Studio :	46
<b>III.15 Schéma du circuit simulé</b> .....	46
III.16 Comportement dynamique :	47
III.17 Complémentarité avec Simulink :	47
III.18 Conclusion :	48
.....	49
<b>CHAPITRE IV :</b> .....	49
<b>PROTOTYPAGE ELECTRONIQUE ET PROGRAMMATION</b> .....	49
IV.1 Introduction :	50
IV.2 composants électroniques :	50
IV.2.1 Définition de l'ESP32 :	50
<b>IV.2.2. Définition du module RFID-RC522 :</b> .....	51
IV.2.3 Définition du capteur ACS712 :	52
IV.2.4 Définition d'un relais (relay) :	52
IV.2.5 Définition d'un buzzer :	53
IV.3 Présentation du projet et justification des composants.....	54
IV.3.1 Le lecteur RFID RC522 : l'identification intelligente des utilisateurs .....	54
IV.3.2 Le capteur de courant ACS712 : mesurer l'effort et l'énergie produite .....	55
IV.3.4 La carte ESP32 : le cerveau connecté du système .....	55
IV.3.5 Le relais : sécurité et contrôle du système de freinage :.....	55
IV.3.6 Le buzzer : retour immédiat à l'utilisateur :.....	55
IV.4 Intégration Google Sheets : journalisation et supervision à distance .....	55
IV.5 Étapes de connexion ESP32 → Google Sheets :	56
IV.5.1 Création de la feuille Google Sheets :	56
IV.5.2 Ajout du script Google Apps Script :	57
IV.5.3 Déploiement du script en tant qu'API Web :	58
IV.6 Code ESP32 pour envoyer les données à Google Sheets :	58
IV.7 Procédure de définition d'une carte RFID (enregistrement d'un nom).....	61
IV.8 Résultat final :	63
IV.9 Conclusion :	64
<b>CHAPITRE V :</b> .....	65

.....	65
<b>ESSAIS ET DISCUSSION DES RÉSULTATS</b> .....	65
V.1 Introduction .....	66
V.2. Méthodologie de mesure.....	66
V.3. Hypothèses de dimensionnement.....	66
V.4 Simulation de la production énergétique journalière.....	66
V.5.Analyse de la production énergétique journalière :.....	67
V.6 Simulation de la consommation énergétique journalière : .....	68
V.7 Programme horaire de la consommation énergétique : .....	68
V.7Analyse des profils de consommation énergétique journalière : .....	69
V.8. Relations physiques, électriques et mécaniques utilisées .....	70
V.9 Analyse croisée : production vs consommation : .....	73
V.10 Conclusion :.....	73
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	74
Bibliographie :.....	77

## Liste des figures

Figure I.1:l'électricité verte [3] .....	6
Figure I.2:Vélo générateur d'électricité .....	12
Figure I.3: CARTE RFID .....	13
Figure II.1.Le régulateur de charge MLI (PWM).....	17
Figure II.2:Principe de fonctionnement MLI (PWM) .....	18
Figure II.3:Le Générateur à Courant Continu.....	19
Figure II.4:Principe de fonctionnement GCC .....	20
Figure II.5:L'inducteur GCC.....	20
Figure II.6 :L'induit GCC .....	20
Figure II.7:Le collecteur GCC.....	21
Figure II.8: Les balais GCC.....	21
Figure II.9: Générateur à excitation indépendante.....	21
Figure II.10: Générateur à excitation shunt.....	22
Figure II.11: Générateur à excitation série .....	22
Figure II.12:Générateur à excitation composée .....	22
Figure II.13: Fonctionnement détaillé d'une batterie.....	24
Figure II.14: Composants principaux d'une batterie.....	25
Figure II.15 : Batteries primaires .....	26
Figure II.16:Batteries secondaires .....	26
Figure II.17:Batteries nickel-cadmium (Ni-Cd).....	27
Figure II.18: Batteries nickel-hydrure métallique (Ni-MH).....	27
Figure II.19 : Batteries lithium-ion (Li-ion).....	27
Figure II.20: Batteries lithium-polymère (Li-Po).....	28
Figure III.1:Le logiciel SOLIDWORKS .....	33
Figure III.2:Le générateur DC dans SolidWorks.....	34
Figure III.3:L'inducteur (stator) dans SolidWorks .....	35
Figure III.4: L'induit (rotor) dans SolidWorks .....	36
Figure III.5:Le couvercle extérieur du générateur dans SolidWorks .....	37
Figure III.6:La roue dans SolidWorks .....	38
Figure III.7:Les batteries dans SolidWorks .....	39
Figure III.8:Le régulateur de charge MLI (PWM) dans SolidWorks .....	41
Figure III.9: Le vélo stationnaire dans SolidWorks .....	43
Figure III.10:une station innovante équipée de deux vélos fixes orientés .....	44
Figure III.11:système format 3D .....	45
Figure III.12: Schéma fonctionnel sous Simulink .....	46
Figure III.13:Schéma du circuit simulé .....	47
Figure III.14: Schéma du circuit simulé .....	48
Figure IV.1:ESP32 30pin.....	51
Figure IV.2: module RFID-RC522.....	51
Figure IV.3:capteur ACS712 .....	52
Figure IV.5: relais .....	53
Figure IV.6: BUZZER .....	54
Figure IV.7: schéma global.....	54
Figure IV.8 :GOOGLE SHEETS .....	56
Figure IV.9:Google Sheets .....	57
Figure IV.10: APP SCRIPTS .....	57
Figure V.1: la production énergétique journalière .....	67
Figure V.2: la consommation énergétique .....	69

Figure V.3: tests au labo .....	70
Figure V.4: vélo stationnaire.....	71
Figure V.5: essai du vélo .....	72

# *Liste des abréviations et symboles*

## **Liste des abréviations**

- DC : Direct Current (Courant Continu)
- AC : Alternating Current (Courant Alternatif)
- PWM : Pulse Width Modulation (Modulation de Largeur d'Impulsion)
- MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion
- RFID : Radio Frequency Identification
- SoC : State of Charge (État de charge)
- OCV : Open Circuit Voltage (Tension à vide)
- ESP32 : Carte électronique Wi-Fi & Bluetooth utilisée dans l'IoT
- LCD : Liquid Crystal Display
- Wi-Fi : Wireless Fidelity
- LED : Light Emitting Diode
- IRENA : International Renewable Energy Agency
- GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- AIE : Agence Internationale de l'Énergie

## **Liste des symboles**

- V : Tension
- I : Courant
- P : Puissance
- E : Énergie
- t : Temps
- R : Résistance électrique
- $\eta$  : Rendement

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Aujourd'hui, le monde fait face à de grands défis liés à l'énergie, à l'environnement et à la société. La population augmente, les villes s'agrandissent, les technologies numériques se développent, et la demande en électricité ne cesse de croître. Cela exerce une forte pression sur les ressources naturelles, surtout avec l'utilisation intensive des énergies fossiles, ce qui accélère le changement climatique et crée des inégalités d'accès à l'énergie, notamment en Algérie.

Dans ce contexte, il devient essentiel de se tourner vers des sources d'énergie plus propres et accessibles à tous. L'énergie verte, produite à partir du soleil, du vent ou de l'effort humain, est une solution prometteuse. Elle aide à protéger l'environnement, à réduire notre dépendance aux énergies classiques, et à encourager les bonnes pratiques.

C'est dans cet esprit que notre projet de fin d'études a été conçu. Il s'agit de créer un vélo stationnaire capable de produire de l'électricité lorsqu'une personne pédale. Cette énergie peut ensuite être utilisée pour des besoins simples, comme recharger un téléphone, allumer une lampe ou alimenter un écran. En plus de produire de l'électricité, le vélo permet à chacun de voir l'énergie qu'il génère en temps réel, grâce à une technologie intégrée.

Le projet comprend plusieurs parties :

- L'étude et l'installation des éléments électriques : un générateur, une batterie, un régulateur de charge, des capteurs et des relais.
- La modélisation mécanique en 3D du vélo et de ses composants pour s'assurer que tout fonctionne correctement et s'intègre bien dans un espace public.
- Des simulations pour tester les performances électriques et vérifier l'efficacité du système.
- L'intégration d'un microcontrôleur ESP32 pour gérer le fonctionnement global, afficher les données et enregistrer la production d'énergie de chaque utilisateur grâce à une carte RFID.
- Une connexion avec Google Sheets permet de garder une trace des données et d'identifier chaque utilisateur.

Ce vélo n'est pas seulement un outil pour produire de l'électricité. Il permet aussi de sensibiliser les gens à la valeur de l'énergie et à l'importance de ne pas la gaspiller. En pédalant, chacun comprend l'effort nécessaire pour générer de l'électricité, ce qui encourage une utilisation plus responsable.

# Introduction générale

Enfin, ce système peut être utilisé dans de nombreux lieux : écoles, universités, gares, événements publics, ou même dans des régions éloignées sans accès facile à l'électricité. Il est simple, peu coûteux et adaptable.

Ce projet montre comment des compétences en ingénierie peuvent être utilisées pour créer des solutions utiles, accessibles et respectueuses de l'environnement. Il reflète aussi l'engagement de notre génération à contribuer à un avenir plus propre et plus responsable.

*Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert*

*Chapitre 01 :*

*Généralité sur le mobilier urbain a énergie vert*

# ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

## **I.1 Introduction :**

Avant de s'intéresser à la conception technique de notre système, il est essentiel de comprendre le contexte global et local dans lequel s'inscrit notre projet. Ce chapitre a pour objectif de poser les bases nécessaires pour expliquer pourquoi il est utile de chercher d'autres façons de produire de l'électricité, plus respectueuses de l'environnement. Aujourd'hui, le monde est confronté à un défi énergétique profonde, liée à une demande toujours croissante et à une dépendance persistante aux énergies fossiles. Ces dernières, bien que largement utilisées, sont responsables d'une grande partie des émissions de gaz à effet de serre, accélérant ainsi le changement climatique. Dans ce contexte, l'électricité verte, produite à partir de sources renouvelables, apparaît comme une bonne solution pour engager une transition énergétique durable.

Mais au-delà des grandes orientations mondiales, cette transition doit aussi être locale, participative et adaptée aux réalités des territoires. En Algérie, malgré un immense potentiel solaire et des besoins énergétiques croissants, notamment dans les zones rurales ou les espaces publics, la part des énergies renouvelables reste faible. Il devient donc nécessaire de réfléchir à des solutions innovantes, accessibles et reproductibles à petite échelle. [1]

## **I.2 Contexte énergétique mondial :**

Aujourd'hui, la consommation mondiale d'électricité ne cesse d'augmenter, portée par la croissance démographique, l'urbanisation rapide et l'essor du numérique. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE, 2023), la demande mondiale en électricité pourrait croître de plus de 60 % d'ici 2040. Cette évolution s'accompagne malheureusement d'une forte dépendance aux énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), responsables de près de 73 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GIEC, 2022).

Face à ces défis, l'humanité est contrainte de repenser son modèle énergétique, en réduisant son empreinte carbone et en promouvant des sources plus durables et plus propres. [2]

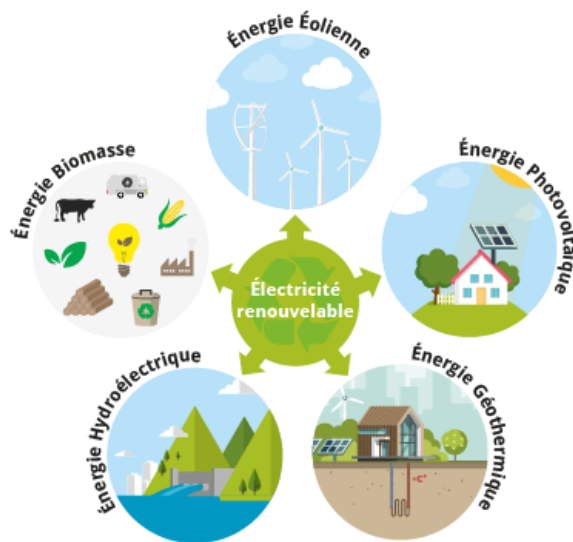
## **I.3 L'importance de l'électricité verte :**

L'électricité verte, c'est-à-dire produite à partir de sources renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biomasse, etc.), est aujourd'hui au cœur des stratégies mondiales pour lutter contre le réchauffement climatique. D'après le GIEC (2022), la production d'électricité représente environ 25 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, principalement à cause de la combustion de charbon, de gaz naturel et de pétrole.

Le passage à une électricité verte permettrait de réduire considérablement ces émissions, car elle n'émet pratiquement aucun gaz à effet de serre lors de sa production. Contrairement aux énergies fossiles, les sources

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

renouvelables n'épuisent pas les ressources naturelles de la planète et n'altèrent pas durablement les écosystèmes. [3]



**Figure I1:l'électricité verte [3]**

### **I.3.1 Une solution durable pour la transition énergétique :**

L'électricité verte joue un rôle fondamental dans la transition énergétique, c'est-à-dire le passage d'un modèle énergétique basé sur les énergies polluantes vers un modèle plus durable, propre et équitable.

Elle permet :

- ✚ D'assurer la sécurité énergétique en réduisant la dépendance aux importations de pétrole ou de gaz.
- ✚ De favoriser l'indépendance énergétique locale, en produisant sur place, à petite ou moyenne échelle.
- ✚ D'encourager l'innovation et la création de nouvelles filières d'emplois verts (ingénieurs, installateurs, techniciens, etc.).

Selon un rapport de l'IRENA (2023), les énergies renouvelables pourraient représenter plus de 90 % de la production mondiale d'électricité d'ici 2050, si les politiques actuelles sont respectées. [4]

### **I.3.2 Accessibilité et décentralisation de l'énergie :**

Une des grandes forces de l'électricité verte est sa capacité à être produite localement, sans passer par de grands réseaux centralisés. C'est ce qu'on appelle la décentralisation énergétique. Cela ouvre la porte à des micro-productions, comme :

- ✚ Des panneaux solaires sur les toits,

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain à énergie vert***

- + Des petites éoliennes pour les fermes,
- + Ou des générateurs à énergie humaine (comme un vélo stationnaire).

Ces solutions permettent de fournir de l'électricité à des zones isolées ou mal desservies, notamment dans certains villages en Afrique ou en Asie. En Algérie, certaines zones rurales ou sahariennes ont encore des difficultés d'accès à une électricité fiable. L'électricité verte, adaptée au climat local (ensoleillement, vent), est donc une réponse logique, durable et accessible. [5]

### **I.3.3 Un levier de sensibilisation environnementale :**

L'électricité verte n'est pas seulement une technologie, c'est aussi un vecteur de prise de conscience. Produire soi-même de l'énergie (par exemple en pédalant sur un vélo stationnaire) permet de mieux comprendre la valeur réelle de l'électricité et de prendre conscience des efforts nécessaires pour en générer.

Un adulte pédalant pendant 10 minutes ne produit que quelques wattheures, soit de quoi recharger partiellement un smartphone. Cela permet de montrer que l'électricité n'est pas gratuite, ni infinie.

Des projets participatifs basés sur ce principe ont déjà été mis en place dans certaines écoles, gares ou centres culturels en France, aux États-Unis ou en Inde. Ils ont montré un fort impact pédagogique et comportemental, notamment chez les jeunes. [6]

### **I.3.4. Une opportunité pour les pays en développement :**

Dans les pays en développement, l'électricité verte représente une opportunité économique, sociale et écologique. Elle peut être une solution Pour:

- + Accélérer l'électrification rurale,
- + Créer de l'emploi local dans l'installation et la maintenance des systèmes,
- + Réduire les coûts d'importation de carburants fossiles.

En Algérie par exemple, malgré un potentiel solaire immense (avec plus de 3000 heures d'ensoleillement par an dans le sud), la production d'électricité renouvelable reste marginale. Des initiatives locales, même modestes comme le vélo générateur, peuvent marquer une première étape vers une prise de conscience collective. [7]

## **I.4 Définition du mobilier urbain :**

Le mobilier urbain désigne l'ensemble des éléments installés dans les espaces publics pour répondre aux besoins fonctionnels, esthétiques ou pratiques des usagers. Il peut s'agir de bancs, d'éclairages, de poubelles, d'abris-bus, de fontaines, etc. Ce mobilier joue un rôle essentiel dans l'organisation de la ville, le confort des citoyens et l'identité visuelle des espaces urbains.

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

Avec le temps, les fonctions du mobilier urbain se sont diversifiées : au-delà de leur utilité de base, ces équipements visent à rendre les villes plus inclusives, accessibles, durables et agréables à vivre. [8]

### **I.5 Le mobilier urbain durable :**

Le mobilier urbain durable se définit comme un mobilier conçu dans le respect de l'environnement, utilisant des matériaux recyclés, recyclables ou issus de ressources renouvelables, et intégrant des systèmes de production d'énergie verte (solaire, éolien, piézoélectrique, etc.). Il s'inscrit dans une démarche de développement durable en réduisant l'impact écologique de l'aménagement urbain.

#### **I.5.1 Objectifs**

- Réduire la consommation énergétique dans les espaces publics.
- Promouvoir l'usage d'énergies renouvelables.
- Sensibiliser les citoyens à l'écologie et à la sobriété énergétique.
- Contribuer à la résilience et à l'autonomie énergétique des villes.
- Améliorer la qualité de vie en milieu urbain.

#### **I.5.2 Exemples**

- Bancs solaires équipés de panneaux photovoltaïques permettant la recharge des téléphones portables.
- Lampadaires autonomes fonctionnant grâce à l'énergie solaire ou éolienne.
- Stations de recharge pour vélos électriques alimentées par des panneaux solaires.
- Poubelles compactantes alimentées par énergie solaire.

### **I.6 Mobilier urbain intelligent :**

Le mobilier urbain intelligent représente une nouvelle génération d'équipements publics intégrant des technologies de communication, de détection, de production et de gestion d'énergie. Ce mobilier est conçu pour améliorer l'expérience urbaine, favoriser la connectivité, optimiser l'utilisation des ressources et renforcer la sécurité dans les espaces publics.

Il regroupe l'ensemble des installations disposant de fonctionnalités interactives, connectées ou automatisées, adaptées aux besoins d'une population urbaine connectée et soucieuse de durabilité.

#### **I.6.1 Différents types de mobilier urbain intelligent**

- **Mobilier de confort et de repos :**

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

- Bancs intelligents (USB, Wi-Fi, capteurs, assise chauffante)
- Abris connectés (capteurs climatiques, éclairage intelligent)
- Transats interactifs
- **Mobilier d'éclairage et d'ambiance :**
  - Lampadaires intelligents (capteurs de présence, intensité variable)
  - Éclairage LED programmable
  - Éclairage solaire autonome
- **Mobilier d'information et de communication :**
  - Bornes interactives (plan, météo, infos locales)
  - Écrans dynamiques
  - Panneaux QR/NFC
  - Wi-Fi urbain intégré
- **Mobilier environnemental :**
  - Poubelles connectées
  - Fontaines intelligentes
  - Capteurs d'arrosage
- **Mobilier ludique et sportif :**
  - Aires de jeux interactives
  - Appareils de sport connectés
  - Installations musicales urbaines
- **Mobilier de sécurité et de surveillance :**
  - Caméras intégrées
  - Éclairage d'urgence
  - Alertes météorologiques/sanitaires [9]

### **I.7 Intégration du projet dans la dynamique du mobilier urbain intelligent**

Le projet de vélo stationnaire producteur d'énergie verte s'inscrit pleinement dans cette dynamique. Il s'agit d'un mobilier sportif intelligent, écologique et connecté, visant à :

- ✚ Promouvoir l'activité physique dans les espaces publics.
- ✚ Produire de l'énergie renouvelable grâce à l'effort humain.
- ✚ Sensibiliser les usagers aux enjeux de la transition énergétique.
- ✚ Offrir une expérience interactive grâce à l'identification RFID et au suivi de la production via écran LCD et enregistrement dans le cloud (Google Sheets). [10]

# ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

## **I.8 Besoin d'accessibilité et de sensibilisation :**

Dans de nombreuses villes du monde, notamment en Afrique du Nord, l'accès à une électricité fiable et propre reste un défi, notamment dans les espaces publics, les zones rurales, ou les campus universitaires. L'installation de systèmes de micro-production permettrait non seulement d'alléger la pression sur le réseau national, mais aussi de sensibiliser la population à la transition énergétique, en leur donnant un rôle actif dans la production d'énergie.

Des initiatives de ce genre existent déjà dans certains pays : on trouve, par exemple, des bancs solaires rechargeables, des vélos rechargeurs de téléphones dans des gares en Europe, ou des stations de fitness produisant de l'énergie dans certains campus américains. Ces solutions, modestes en apparence, ont un fort potentiel éducatif et écologique, tout en valorisant l'effort humain.

## **I.9 Présentation du projet :**

C'est dans cette perspective qu'est né notre projet : concevoir un vélo stationnaire, installé dans des lieux publics (parcs, stations du tramway, places), permettant à tout citoyen de pédaler et de générer de l'électricité verte. Cette énergie pourrait être utilisée pour :

- ✚ Recharger des appareils électroniques (téléphones, batteries portables).
- ✚ Alimenter un éclairage local (LED).
- ✚ Recharger les scooters et les trottinettes électriques.
- ✚ Être stockée dans une batterie pour un usage différé.
- ✚ Ou encore alimenter un petit écran d'information ou une connexion Wi-Fi locale.

Ce projet est à la croisée de plusieurs enjeux : énergétique, technique, pédagogique, environnemental et social.

## **I.10 Problématique :**

Cependant, plusieurs questions se posent :

- ✚ Quelle est la quantité réelle d'énergie qu'un tel système peut produire ?
- ✚ Est-elle suffisante pour répondre à des besoins locaux simples ?
- ✚ Le système est-il fiable, durable et accessible dans un contexte économique comme celui de l'Algérie ?
- ✚ Enfin, comment intégrer cette solution dans une stratégie plus large de sensibilisation et d'autonomie énergétique locale ?

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain à énergie vert***

C'est pour répondre à ces interrogations que ce mémoire se penche sur la problématique suivante :

Comment concevoir et intégrer un système de vélo stationnaire producteur d'électricité verte dans les espaces publics, afin de participer à la transition énergétique locale, tout en sensibilisant les citoyens à l'importance de l'énergie renouvelable ?

### **I.11. Objectifs du projet :**

Ce projet part d'une idée simple mais ambitieuse : produire de l'électricité verte à partir d'un effort humain, à travers un vélo stationnaire installé dans des espaces publics. L'objectif principal est donc de concevoir un dispositif fonctionnel, accessible et durable, capable de générer une petite quantité d'électricité utile pour des usages du quotidien, comme recharger un téléphone ou alimenter un éclairage LED.

Au-delà de cette finalité technique, plusieurs objectifs spécifiques guident notre démarche :

- ✚ Comprendre les besoins réels en énergie dans les lieux visés (parcs, gares, campus...) et identifier les usages les plus pertinents.
- ✚ Concevoir un système performant, en choisissant des composants fiables, simples à maintenir, et peu coûteux.
- ✚ Adapter le projet au contexte local algérien, en tenant compte des réalités économiques, climatiques et sociales.

Enfin, encourager la sensibilisation du public : en pédalant pour produire de l'électricité, les usagers prennent conscience de la valeur de chaque watt consommé.

### **I.12 Méthodologie adoptée :**

Pour mener à bien ce projet, nous avons suivi une approche progressive, mêlant étude de terrain, recherche théorique, et modélisation technique.

La première étape a consisté à analyser le contexte énergétique local : quels sont les besoins en électricité dans les lieux publics ? Quelle est la perception des citoyens face à l'énergie verte ? Le climat local (ensoleillement, température, etc.) a également été pris en compte.

Ensuite, une recherche documentaire approfondie a été réalisée pour comparer des projets similaires déjà mis en œuvre ailleurs (en France, aux États-Unis, en Inde, etc.) et identifier les bonnes pratiques.

Nous avons ensuite entamé le dimensionnement du système électromécanique, en choisissant les éléments clés : type de génératrice, convertisseurs, batteries, régulateur de charge, etc. Une phase de conception et, si possible,

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

de prototypage est envisagée pour tester concrètement le système. Enfin, des simulations ou des tests pratiques permettront d'évaluer ses performances et d'identifier des pistes d'amélioration

### **I.13 Cadre d'innovation et impact attendu :**

Au-delà de son aspect technique, ce projet s'inscrit dans une démarche d'innovation sociale et environnementale. Il ne s'agit pas seulement de produire de l'électricité, mais aussi de changer les mentalités, de rendre l'énergie visible et palpable, notamment pour les jeunes générations.

En pédalant quelques minutes pour recharger un téléphone, chacun peut prendre conscience de l'effort nécessaire pour produire de l'énergie. Ce message fort peut contribuer à une prise de conscience collective sur la consommation, le gaspillage et les enjeux de la transition énergétique.

Ce type de projet peut également être répliqué facilement dans d'autres contextes : écoles, universités, centres culturels, festivals, etc. Il pourrait ainsi devenir un outil pédagogique, un support de communication sur l'énergie verte, mais aussi un vecteur d'inclusion, en permettant à chacun de participer, à son échelle, à un monde plus durable. [11]



**Figure I.2: Vélo générateur d'électricité**

### **I.13 Une expérience personnalisée grâce à la carte RFID :**

Pour renforcer l'aspect participatif et pédagogique de notre dispositif, nous avons choisi d'intégrer une carte RFID au système. Cette carte, remise à chaque utilisateur, permet de l'identifier automatiquement lorsqu'il utilise le vélo stationnaire. L'énergie qu'il produit est alors enregistrée et ajoutée à son compte personnel.

Ce principe d'identification offre plusieurs avantages. D'abord, il permet à chacun de suivre sa contribution en temps réel, en visualisant les wattheures qu'il a générés. Cela rend l'expérience plus motivante, presque ludique : produire de l'énergie devient un défi personnel ou collectif.

## ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

Ensuite, cette traçabilité ouvre la voie à de nombreuses applications futures : par exemple, des programmes de récompense symbolique (recharge gratuite, accès Wi-Fi, badge éco-citoyen...), ou des statistiques globales sur l'implication des utilisateurs par lieu ou par période.

Mais au-delà de la technologie, cette carte représente surtout un lien entre l'individu et la transition énergétique. En donnant un retour direct sur l'effort fourni, elle transforme l'utilisateur en acteur engagé, conscient de sa capacité à produire et à économiser l'énergie. Elle incarne une vision moderne, inclusive et éducative de l'écologie : chacun peut participer, à son échelle, à construire un avenir plus durable. [12]



**Figure I.3: CARTE RFID**

# ***Chapitre 01 : généralité sur le mobilier urbain a énergie vert***

## **I.14. Conclusion :**

Ce premier chapitre a permis de présenter les bases théoriques, environnementales et sociales qui justifient notre projet de vélo stationnaire produisant de l'électricité verte. Dans un contexte mondial où les besoins en énergie augmentent et où la préservation de l'environnement devient une priorité, l'électricité produite à partir de sources renouvelables représente une solution pratique et respectueuse de la nature.

À travers l'analyse de la situation énergétique actuelle, de l'intérêt croissant pour les énergies propres, et des besoins spécifiques en Algérie, notamment dans certaines régions peu desservies, il apparaît que des systèmes simples comme celui que nous proposons peuvent avoir un impact réel, à la fois technique, éducatif et utile à la société.

Notre projet s'inscrit donc dans une démarche concrète et accessible, qui vise non seulement à produire de l'électricité à partir de l'effort humain, mais aussi à faire découvrir au public — en particulier aux jeunes — la valeur de l'énergie et l'importance de l'utiliser avec responsabilité. L'ajout d'un système d'identification par carte RFID permet de rendre cette expérience plus interactive, personnalisée et motivante.

## **CHAPITRE II :**

### **DÉFINITION DU MATERIELS UTILISÉES**

## ***Chapitre 02 : définition des matériels utilisés***

### **II.1 Introduction :**

L'évolution rapide des besoins énergétiques dans le monde moderne, couplée à la nécessité de réduire notre dépendance aux sources d'énergie fossiles, a favorisé le développement de systèmes autonomes de production d'énergie à base de sources renouvelables. Ces systèmes, souvent déployés dans des zones isolées ou intégrés à des micro-réseaux urbains, reposent sur un ensemble de composants interconnectés dont le bon fonctionnement détermine à la fois leur efficacité et leur fiabilité.

Parmi les éléments clés d'un tel système, le régulateur de charge MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion), le générateur à courant continu (DC), ainsi que les batteries de stockage jouent un rôle central dans la conversion, la régulation et la gestion de l'énergie produite. Le régulateur MLI permet non seulement de contrôler la tension et le courant fournis aux batteries, mais aussi d'optimiser le rendement global du système en adaptant dynamiquement le point de fonctionnement selon les conditions de charge. Quant au générateur DC, il représente une source fiable d'électricité, particulièrement adaptée pour des applications nécessitant une conversion directe de l'énergie mécanique en énergie électrique. Les batteries, enfin, assurent le stockage de l'énergie excédentaire afin de garantir une alimentation continue même en l'absence de source de production immédiate.

Ce chapitre est donc consacré à l'étude approfondie de ces trois composants. Nous aborderons leur principe de fonctionnement, leur importance au sein d'un système de gestion de l'énergie, ainsi que les critères techniques qui guident leur choix et leur dimensionnement. Cette analyse permettra de mieux comprendre comment ces éléments interagissent pour assurer un fonctionnement stable, efficace et durable du système étudié [1]

### **II.2 Le régulateur de charge MLI (PWM) :**

Le régulateur de charge PWM (Pulse Width Modulation ou modulation de largeur d'impulsion) est un dispositif électronique utilisé dans certains systèmes afin de bien réguler la charge utile des batteries et optimiser ainsi le transfert d'énergie. On le retrouve assez fréquemment, par exemple, dans la plupart des systèmes solaires photovoltaïques, mais aussi dans d'autres applications nécessitant une gestion efficace de l'énergie, comme certains systèmes éoliens, quelques véhicules électriques et certaines alimentations industrielles.

Il permet d'éviter la surcharge, qui pourrait endommager la batterie. Il permet aussi d'éviter la décharge excessive, qui risquerait de réduire sa durée de vie.

En raison de sa propre capacité à réguler assez efficacement la tension et puis le courant de charge, le régulateur PWM joue alors un rôle tout à fait clé dans l'optimisation des performances des batteries, en prolongeant leur durée de vie ainsi qu'en garantissant un stockage d'énergie stable et réellement sécurisé [2]

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés



Figure II.1. Le régulateur de charge MLI (PWM)

### II.3 Historique du régulateur de charge PWM :

Les régulateurs de charge jouent un rôle essentiel dans les systèmes solaires photovoltaïques. Leur mission Gérer la charge de la batterie à partir de l'énergie produite par les panneaux solaires, tout en évitant la surcharge ou la décharge profonde. Parmi les différentes technologies de régulation, celle du PWM (modulation de largeur d'impulsion) a été l'une des plus utilisées... et voici comment elle a évolué. [3]

### II.4 L'arrivée de la modulation PWM :

Dans les années 1990, les progrès dans l'électronique de puissance et les microcontrôleurs ont permis de développer des régulateurs plus intelligents et plus efficaces. C'est à cette période que la technologie PWM s'est imposée.

Le régulateur PWM fonctionne différemment : au lieu d'un simple "tout ou rien", il module la largeur des impulsions électriques envoyées à la batterie. En d'autres termes, il fait varier la durée pendant laquelle le courant passe, en fonction de l'état de charge de la batterie.

**Résultat :** la batterie est chargée plus progressivement, de manière plus contrôlée, ce qui améliore son rendement et sa durée de vie.

### II.3 Principe de fonctionnement :

Le régulateur PWM module la tension de charge via l'envoi d'impulsions brèves à la batterie. Il fonctionne en réduisant peu à peu la largeur de ces impulsions, puis ceci se produit à mesure que la batterie se charge. Cela permet alors un contrôle plus précis du courant et de la tension. À l'inverse d'un régulateur ON/OFF, qui marche de façon binaire, le PWM module l'énergie plus efficacement [4]

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

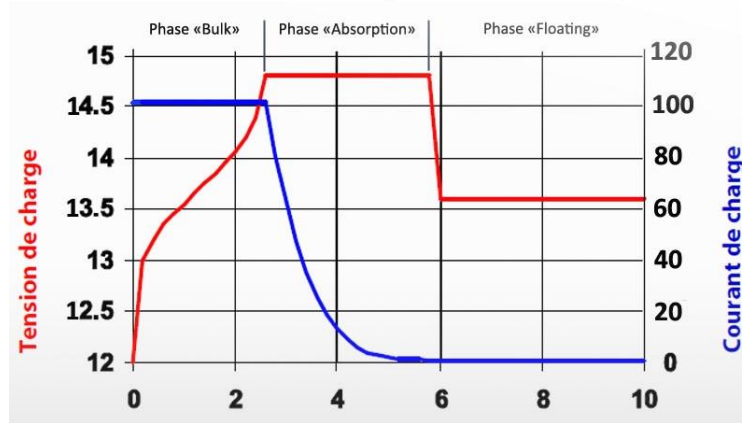


Figure II.2: Principe de fonctionnement MLI (PWM)

### II-4 Avantages et inconvénients du PWM :

#### II-4-1 Avantages :

- ✚ Il optimise la charge de la batterie en ajustant le courant et la tension
- ✚ Il Robustesse et fiabilité les performances de la batterie en évitant la surcharge et en maintenant un niveau de charge stable.
- ✚ Il réduit les pertes d'énergie par dissipation par rapport aux autres régulateurs.
- ✚ Coût abordable, ce qui les rend accessibles pour des installations à faible budget.
- ✚ Simplicité d'installation et d'utilisation
- ✚ Robustesse et fiabilité.
- ✚ Compatible avec les batteries plomb-acide qui sont très utilisées.
- ✚ Il consomme peu d'énergie pour son propre fonctionnement.
- ✚ Bon rendement pour les petits systèmes.
- ✚ Moins d'entretien : Ils ne nécessitent pas d'entretien fréquent.

#### II-4-2 inconvénients :

- ✚ Moins efficace que les régulateurs MPPT
- ✚ Adapté aux petits systèmes : Il est généralement utilisé dans des applications de puissance moyenne ou faible
- ✚ Temps de charge plus longs.
- ✚ Il génère des harmoniques dans le signal de sortie, ce qui provoque des interférences électromagnétiques.

[5]

## *Chapitre 02 : définition des matériels utilisés*

### **II.5 Le Générateur à Courant Continu :**

Le générateur à courant continu (ou génératrice à courant continu) est une machine électrique permettant de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique sous forme de courant continu. Il a été l'un des premiers dispositifs utilisés pour produire de l'électricité avant l'avènement des systèmes à courant alternatif. Cette recherche a pour but de présenter son fonctionnement, ses composants, ses types ainsi que ses applications dans le domaine industriel.



**Figure II.3 : Le Générateur à Courant Continu**

### **II.6 Principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement d'une génératrice à courant continu repose sur le phénomène d'induction électromagnétique. Lorsqu'un conducteur électrique (souvent un enroulement de fil de cuivre) tourne à l'intérieur d'un champ magnétique, une tension électrique est induite dans ce conducteur. Ce champ magnétique est généralement créé par un aimant permanent ou un électro-aimant situé à l'intérieur de la génératrice. En tournant, le conducteur coupe les lignes du champ magnétique, ce qui provoque l'apparition d'un courant électrique dans l'enroulement. Toutefois, le courant produit est d'abord alternatif. Pour le transformer en courant continu, la génératrice est équipée d'un collecteur à segments (appelé aussi commutateur) et de balais (ou charbons) qui permettent de redresser le courant et d'obtenir une tension continue à la sortie. Ce système permet donc de convertir une énergie mécanique (comme celle d'un moteur ou d'une manivelle) en énergie électrique continue [6]

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

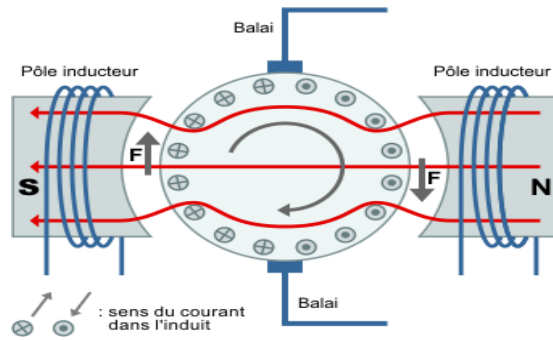


Figure II.4 : Principe de fonctionnement GCC

### II.7 Composants principaux :

Un générateur à courant continu est généralement constitué des éléments suivants [7]:

#### II.7.1 L'inducteur :

Crée le champ magnétique, souvent composé d'électroaimants ou d'aimants permanents

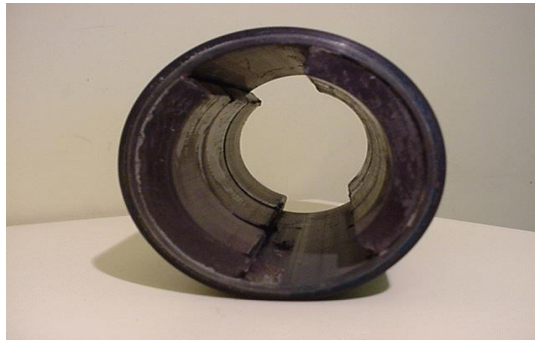


Figure II.5 :L'inducteur GCC

#### II.7.2 L'induit :

Partie mobile où se génère la tension induite.



Figure II.6 :L'induit GCC

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

### II.7.3 Le collecteur (ou commutateur) :

Convertit le courant alternatif induit en courant continu



Figure 4:Le collecteur GCC

### II.7.4 Les Balais :

Transmettent le courant de l'induit au circuit extérieur



Figure II.8: Les balais GCC

## II.8 Types de générateurs à courant continu :

Il existe plusieurs types de générateurs selon la façon dont l'inducteur est alimenté [8] :

### II.8.1 Générateur à excitation indépendante :

L'inducteur est alimenté par une source extérieure.

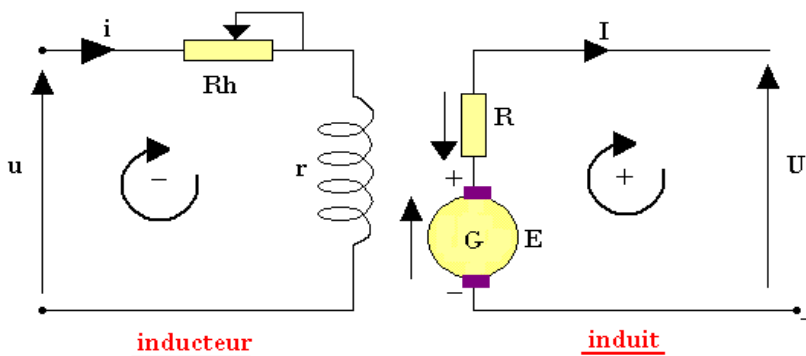
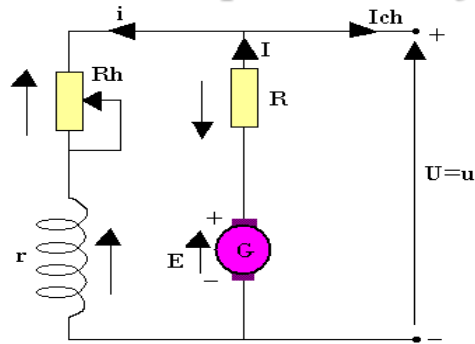


Figure II.9: Générateur à excitation indépendante

### II.8.2 Générateur à excitation shunt (ou dérivation) :

L'inducteur est connecté en parallèle avec l'induit.

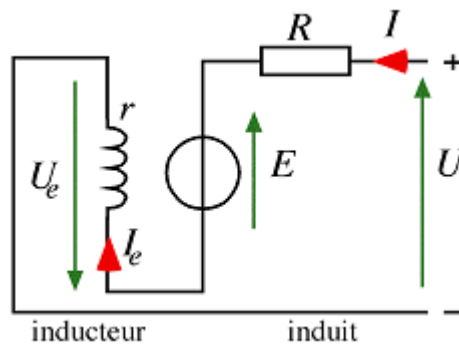
## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés



**Figure II.10 Générateur à excitation shunt**

### II.8.3 Générateur à excitation série :

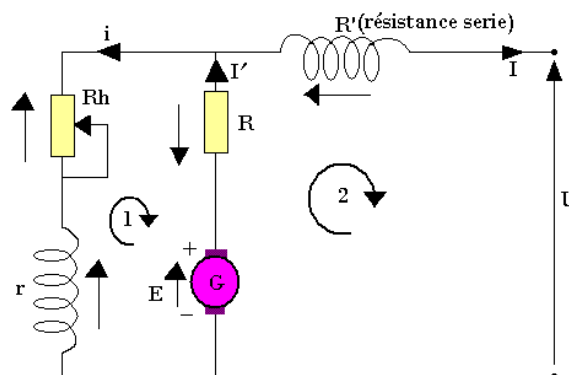
L'inducteur est connecté en série avec l'induit.



**Figure II.11 Générateur à excitation série**

### II.8.4 Générateur à excitation composée :

Combinaison des deux précédents :



**Figure II.12 :Générateur à excitation composée**

## ***Chapitre 02 : définition des matériels utilisés***

### **II.9 Avantages et inconvénients du GCC :**

#### **II.9.1 Avantages :**

- ✚ Tension stable et contrôlable : La génératrice CC permet d'obtenir une tension continue et constante, ce qui est parfait pour alimenter certains appareils sensibles qui n'aiment pas les variations de courant.
- ✚ Facilité de réglage de la vitesse : Contrairement à une alternatrice, on peut ajuster facilement la vitesse de rotation d'une génératrice CC pour modifier la tension ou l'intensité du courant produit.
- ✚ Bon comportement à basse vitesse : Elle peut produire de l'électricité même à faible vitesse de rotation, ce qui la rend adaptée pour des situations où la vitesse de la machine varie beaucoup (comme dans les petites éoliennes ou dans certains trains électriques).
- ✚ Couple de démarrage élevé : Quand on utilise la génératrice en mode moteur (dans une machine réversible), elle offre un couple de démarrage élevé, ce qui est idéal pour démarrer des charges lourdes.

#### **II.9.2 inconvénients :**

- ✚ Entretien régulier nécessaire : Les génératrices CC possèdent des balais (charbons) et un collecteur, qui frottent en permanence pour assurer le contact électrique. Avec le temps, ces pièces s'usent et demandent un entretien fréquent.
- ✚ Moins robuste qu'une alternatrice : À cause de ses pièces en mouvement (balais, collecteur), la génératrice est plus sensible à l'usure et aux conditions difficiles (poussière, humidité...).
- ✚ Coût de fabrication plus élevé : En général, une génératrice CC est plus complexe à fabriquer qu'une alternatrice équivalente, surtout à grande puissance. Cela peut augmenter le coût global de l'installation.
- ✚ Moins adaptée aux grandes puissances : Pour les grandes centrales électriques ou les réseaux publics, les génératrices à courant continu ne sont pas pratiques. On leur préfère le courant alternatif, plus facile à transporter et à transformer [9].

### **II.10 Applications du GCC :**

Bien qu'ils soient aujourd'hui moins utilisés que les générateurs à courant alternatif, les générateurs à courant continu trouvent encore leur place dans certains domaines :

- ✚ Locomotives électriques anciennes.
- ✚ Systèmes de charge de batteries.
- ✚ Applications industrielles nécessitant un courant stable. [10]

### **II.10 batterie :**

Une batterie est un système électrochimique qui transforme l'énergie chimique en énergie électrique par le biais de réactions d'oxydoréduction. Elle se compose généralement de plusieurs cellules électrochimiques, appelées

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

accumulateurs, reliées entre elles. Chaque cellule contient une anode (électrode négative), une cathode (électrode positive), et un électrolyte qui permet le passage des ions entre les deux électrodes.

Lorsqu'un appareil est alimenté par une batterie, une réaction chimique a lieu à l'intérieur de celle-ci, produisant un courant électrique. Lorsque la batterie est rechargeable, ce processus peut être inversé pendant la phase de recharge

### II.10.1 Fonctionnement détaillé d'une batterie :

Dans une batterie, l'électricité est produite par une réaction chimique appelée réaction d'oxydoréduction. L'anode (électrode négative) libère des électrons, tandis que la cathode (électrode positive) capte ces électrons à travers un circuit externe. Les ions, quant à eux, se déplacent dans l'électrolyte pour équilibrer la charge électrique.

La batterie produit ainsi un courant continu (DC) que l'on utilise pour alimenter différents appareils. [11]

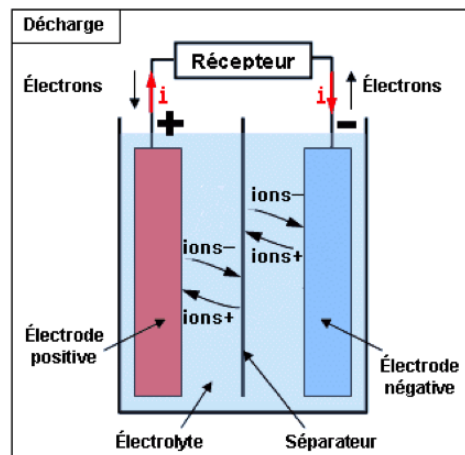


Figure 5: Fonctionnement détaillé d'une batterie

### II.10.2 Composants principaux d'une batterie :

- ✚ L'anode : elle subit une oxydation (perte d'électrons).
- ✚ La cathode : elle subit une réduction (gain d'électrons).
- ✚ L'électrolyte : liquide, gel ou solide, il permet le déplacement des ions.
- ✚ Le séparateur : évite le contact direct entre les deux électrodes, pour éviter un court-circuit.

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

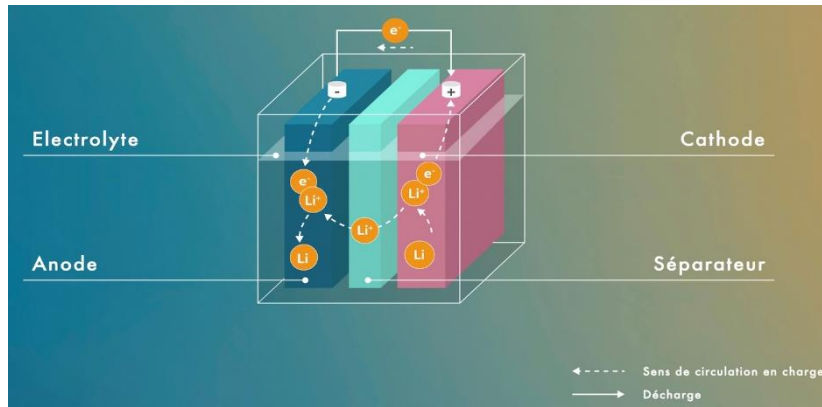


Figure II.14: Composants principaux d'une batterie

### II.11 Historique des batteries :

L'origine des batteries remonte à l'époque d'Alessandro Volta, qui inventa en 1800 la pile voltaïque, considérée comme la première source d'électricité continue. Elle se composait de disques de cuivre et de zinc séparés par des tissus imbibés d'une solution saline.

Quelques années plus tard, John Daniell inventa une pile plus stable, la pile Daniell, améliorant ainsi la performance et la durée de fonctionnement.

Au XIXe siècle, Gaston Planté mit au point la première batterie rechargeable au plomb-acide (en 1859), un système encore utilisé aujourd'hui dans les véhicules.

Le XXe siècle a été marqué par de grandes avancées :

- ✚ Les piles alcalines (1930), plus puissantes et plus durables.
- ✚ L'introduction des batteries nickel-cadmium (Ni-Cd) et nickel-hydrure métallique (Ni-MH) dans les appareils portables.
- ✚ Dans les années 1970, le développement des batteries lithium-ion a révolutionné le secteur, notamment dans les domaines de l'électronique portable et plus récemment dans les véhicules électriques.

Aujourd'hui, les recherches continuent pour améliorer la densité énergétique, la durée de vie, la sécurité, et réduire l'impact environnemental des batteries. [12]

### II.12 Types de batteries :

#### II.12.1 Batteries primaires :

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

Ce sont des batteries **non rechargeables**. Une fois l'énergie chimique épuisée, elles ne peuvent plus être utilisées. Exemples :

- + **Pile alcaline** : utilisée dans les télécommandes, les lampes torches...
- + **Pile lithium primaire** : employée dans les montres, appareils médicaux, etc.[13]



Figure 6: Batteries primaires

### II.12.3 Batteries secondaires :

Ce sont des batteries **rechargeables**, qu'on peut utiliser pendant plusieurs cycles. Exemples :

- + **Batteries au plomb-acide** :
  - Très utilisées dans les voitures (batterie de démarrage).
  - Bon marché, mais lourdes et contiennent du plomb toxique.

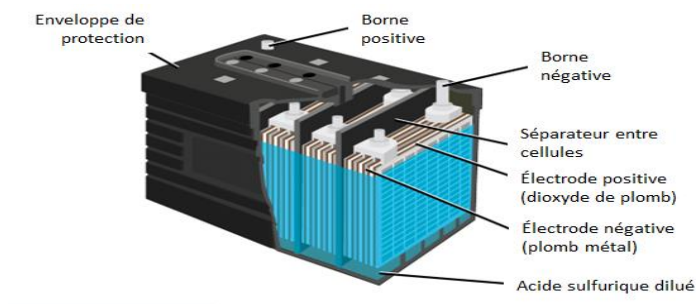


Figure II .16: Batteries secondaires

- + **Batteries nickel-cadmium (Ni-Cd)** :
  - Bonne performance, même à basse température.

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

- Contiennent du cadmium, un métal polluant.

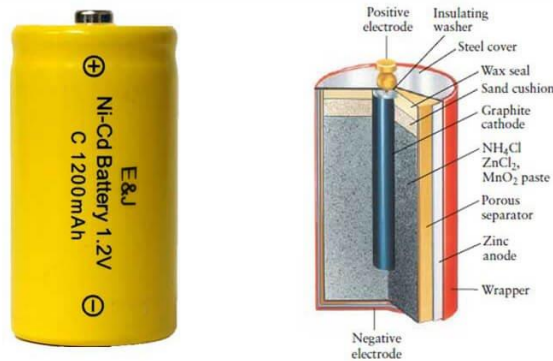


Figure II.17 : Batteries nickel-cadmium (Ni-Cd)

### ✚ Batteries nickel-hydrure métallique (Ni-MH) :

- Moins toxiques que les Ni-Cd.
- Utilisées dans les appareils photo, rasoirs électriques, etc.



Figure II.18 : Batteries nickel-hydrure métallique (Ni-MH)

### ✚ Batteries lithium-ion (Li-ion) :

- Légères, rechargeables rapidement, grande capacité.
- Très répandues dans les smartphones, ordinateurs portables, voitures électriques.



Figure II.19 : Batteries lithium-ion (Li-ion)

### ✚ Batteries lithium-polymère (Li-Po) :

## Chapitre 02 : définition des matériels utilisés

- Variante des Li-ion, plus légères, utilisées dans les drones, tablettes et appareils modernes

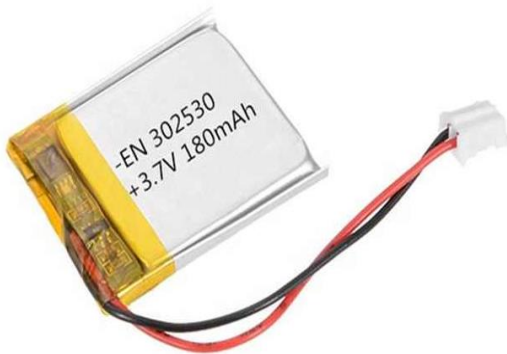


Figure7.20: Batteries lithium-polymère (Li-Po)

### II.13 Avantages et inconvénients des batteries :

#### II.13.1 Avantages :

- ✚ Portabilité : elles permettent d'utiliser des appareils sans fil.
- ✚ Diversité d'applications : elles s'adaptent à de nombreux domaines (domestique, industriel, médical...).
- ✚ Technologie évolutive : les batteries deviennent plus compactes, durables et puissantes.
- ✚ Énergie renouvelable : couplées aux panneaux solaires ou éoliens, elles permettent de stocker l'électricité.

#### II.13.2 inconvénients :

- ✚ Impact environnemental : certaines contiennent des matériaux dangereux (plomb, cadmium, lithium).
- ✚ Durée de vie limitée : après un certain nombre de cycles, les performances chutent.
- ✚ Recyclage complexe : toutes ne sont pas recyclables facilement.
- ✚ Coût : certaines technologies récentes (comme le lithium) sont encore coûteuses à produire. [14]

### II.14 Développements de nouvelles technologies :

La recherche dans le domaine des batteries est très active. Voici quelques exemples de technologies prometteuses :

- ✚ **Batteries au lithium-soufre** : elles pourraient avoir une capacité énergétique beaucoup plus élevée que les Li-ion, tout en étant moins coûteuses.
- ✚ **Batteries à l'état solide** : elles utilisent un électrolyte solide au lieu d'un liquide, ce qui améliore la sécurité et la densité énergétique.

## ***Chapitre 02 : définition des matériels utilisés***

- ✚ **Super-condensateurs** : ce ne sont pas vraiment des batteries, mais ils permettent de stocker et libérer l'énergie très rapidement. Utiles dans les transports et l'industrie [15]

### **II.15 Enjeux environnementaux et recyclage :**

Les batteries, surtout les plus modernes, contiennent des métaux rares ou toxiques comme le lithium, le cobalt, ou le nickel. Leur extraction a un impact important sur l'environnement (pollution, consommation d'eau, déforestation...).

Le recyclage est donc essentiel :

- ✚ En France et en Europe, les batteries usagées doivent être déposées dans des points de collecte (supermarchés, déchetteries...).
- ✚ Certaines entreprises récupèrent les matériaux précieux pour les réutiliser.

Il existe aussi des projets pour créer des batteries écologiques à base de matériaux abondants ou recyclés (comme le sodium ou le zinc). [16]

### **II.16 Batteries et mobilité électrique :**

Le développement des voitures électriques a fortement relancé la recherche sur les batteries. Les batteries doivent être puissantes, durables, rapides à recharger, et le moins polluantes possible.

- ✚ Une batterie de voiture électrique contient généralement des centaines de cellules lithium-ion.
- ✚ Les fabricants travaillent à prolonger la durée de vie des batteries et à réduire leur temps de charge.
- ✚ En fin de vie, les batteries de voiture peuvent être réutilisées dans des systèmes de stockage d'énergie pour les maisons [17]

### **II.17 Stockage de l'énergie renouvelable :**

Les batteries jouent un rôle important dans le développement des énergies renouvelables. L'électricité produite par les panneaux solaires ou les éoliennes est intermittente : elle dépend du soleil ou du vent.

Les batteries permettent de stocker cette énergie quand elle est produite en surplus et de l'utiliser plus tard, quand il n'y a pas de production. Cela favorise l'autonomie énergétique, surtout dans les zones isolées

## *Chapitre 02 : définition des matériels utilisés*

### **II.18 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail les trois composants fondamentaux qui assurent la stabilité et la performance d'un système autonome de production et de gestion de l'énergie électrique : le **régulateur de charge MLI (PWM)**, le **générateur à courant continu**, et le **système de batteries**. Chacun de ces éléments joue un rôle spécifique mais complémentaire dans la chaîne énergétique.

Le régulateur MLI permet un contrôle précis de la tension et du courant, en assurant non seulement la protection des batteries contre la surcharge et la décharge profonde, mais aussi une meilleure efficacité de conversion grâce à la modulation de largeur d'impulsion. De son côté, le générateur DC constitue une source d'alimentation simple, robuste et parfaitement adaptée aux systèmes de petite ou moyenne puissance, notamment lorsqu'il est couplé à une source mécanique telle qu'un pédalier ou une éolienne. Quant aux batteries, elles représentent l'élément de stockage indispensable, garantissant une alimentation stable en énergie, indépendamment des fluctuations de la production.

La compréhension approfondie de ces composants, de leurs caractéristiques techniques et de leur fonctionnement permet de poser les bases solides pour la conception, l'optimisation et la mise en œuvre d'un système énergétique autonome fiable. Ces connaissances serviront de fondement aux chapitres suivants, dans lesquels nous aborderons l'intégration de ces éléments au sein de notre système expérimental ainsi que leur comportement en conditions réelles de fonctionnement.

**CHAPITRE III :**  
**MODELISATION MECANIQUE ET ELECTRIQUE**  
**DU PROTOTYPE**

## ***Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype***

### **III.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, nous présentons la modélisation complète des éléments constituant notre système de production d'énergie à l'aide d'un vélo stationnaire. Cette étape est essentielle pour visualiser et valider la faisabilité technique de l'ensemble avant toute réalisation physique.

Grâce au logiciel SolidWorks, nous avons pu concevoir en trois dimensions les différents composants mécaniques et électriques impliqués dans le projet, notamment le vélo stationnaire, le générateur à courant continu, le régulateur de charge MLI (PWM), la batterie, ainsi que la structure de support destinée à un usage dans un espace public.

Cette modélisation virtuelle permet :

- d'assurer une compatibilité entre les pièces,
- de faciliter le montage et la maintenance du système,
- de simuler le fonctionnement global du dispositif dans son environnement d'exploitation.

Nous détaillerons dans ce chapitre la modélisation de chaque composant individuellement, puis nous terminerons par une représentation intégrée du système final tel qu'il serait installé dans un espace public. [18]

### **III.2 Le logiciel SOLIDWORKS :**

SolidWorks, c'est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) qui permet de modéliser des objets en 3D, que ce soit des pièces mécaniques simples ou des systèmes complexes. Il est surtout utilisé par les ingénieurs, les designers et les techniciens pour dessiner, simuler et analyser des produits avant leur fabrication.

Ce qui le rend populaire, c'est sa facilité d'utilisation comparée à d'autres logiciels pro, et sa capacité à créer des plans précis tout en visualisant les assemblages en 3D.

Tu peux par exemple concevoir une bicyclette pièce par pièce, les assembler virtuellement, vérifier les mouvements, et même tester leur résistance avec les outils de simulation intégrés. [19]

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

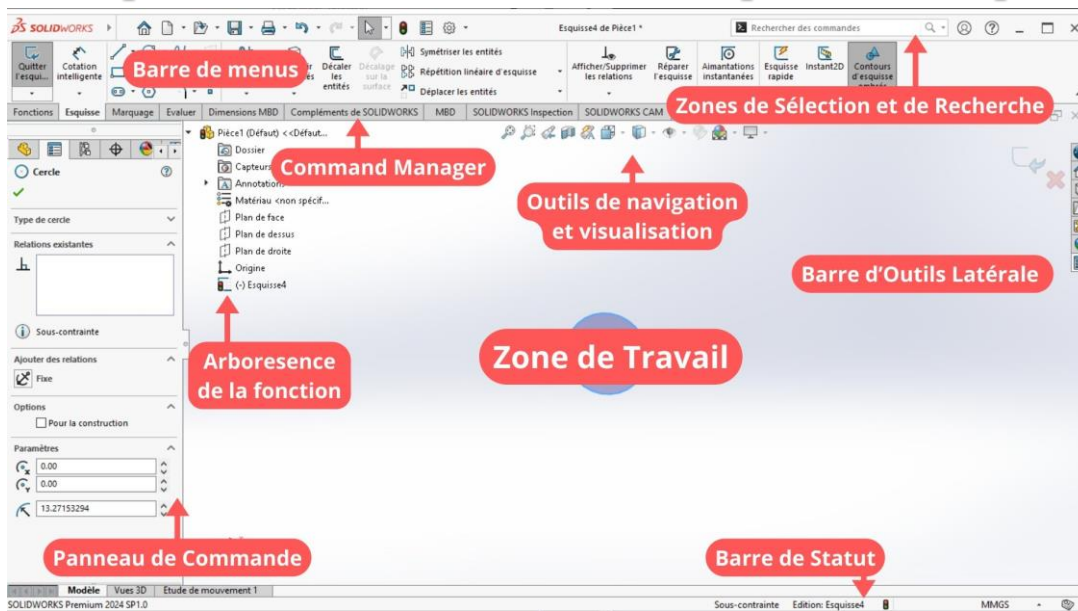


Figure III.1:Le logiciel SOLIDWORKS

### III.3 La Conception :

#### III.3.1 Le générateur DC dans SolidWorks :

Dans le domaine de la conception mécanique, le générateur à courant continu (DC) est un composant électromécanique couramment utilisé pour transformer l'énergie mécanique en énergie électrique. Sur SolidWorks, ce type de machine peut être modélisé en 3D dans le cadre d'un projet éducatif, industriel ou de simulation de système électromécanique.

La modélisation d'un générateur DC commence généralement par la création des pièces individuelles : le stator, le rotor (ou l'induit), les balais, les connexions électriques, etc. Chaque pièce est dessinée à partir de ses dimensions réelles, souvent extraites d'une fiche technique.

Ensuite, ces pièces sont assemblées virtuellement dans l'environnement "Assembly" de SolidWorks, permettant d'avoir une vue complète et fonctionnelle de la machine.

Ce genre de projet permet non seulement de travailler la précision mécanique, mais aussi de mieux comprendre le fonctionnement interne de la machine. En combinant la modélisation avec des animations de mouvement ou même des études de contraintes, l'utilisateur peut simuler la rotation de l'arbre, visualiser le contact des balais, ou analyser l'impact de certaines charges mécaniques.

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

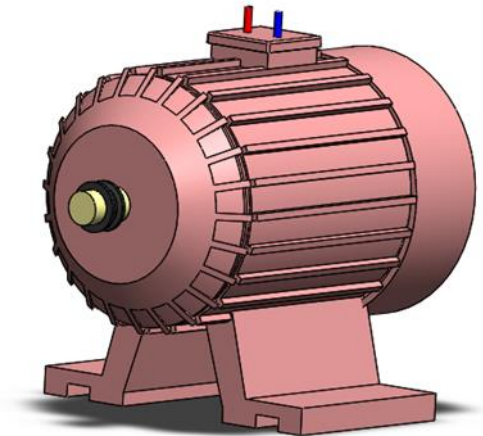
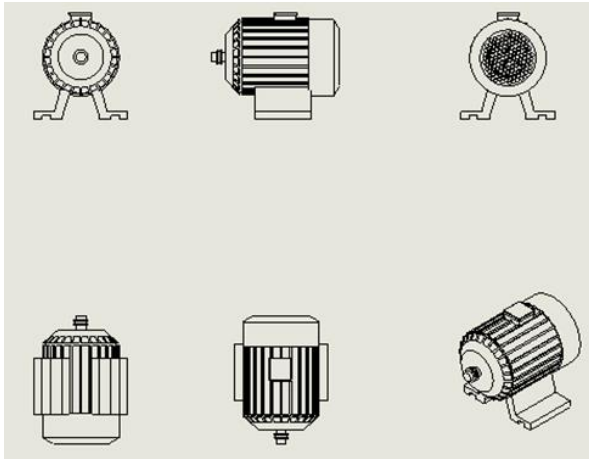


Figure III.2 :Le générateur DC dans SolidWorks

### III.3.2 L'inducteur (stator) dans SolidWorks :

Dans le domaine de la conception assistée par ordinateur (CAO), et plus particulièrement sur **SolidWorks**, le **stator** est un élément clé à modéliser lorsqu'on travaille sur des machines électriques comme les moteurs ou les générateurs. C'est la **partie fixe** de la machine, celle qui reste immobile pendant que le rotor tourne à l'intérieur.

Lorsqu'on modélise un stator sur SolidWorks, on commence généralement par définir ses **formes géométriques de base**, qui peuvent inclure :

- ✚ **Le corps cylindrique externe**, souvent en tôle magnétique,
- ✚ **Les encoches internes**, destinées à accueillir les enroulements ou les aimants,
- ✚ **Les trous de fixation**, permettant de monter le stator sur un support.

La conception du stator se fait en plusieurs étapes :

- ✚ **Création d'esquisses 2D**, souvent sur un plan de coupe,
- ✚ **Utilisation d'outils comme l'extrusion ou la révolution** pour générer la forme 3D,
- ✚ **Application de motifs circulaires** pour répéter les encoches ou les fentes de façon régulière.

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

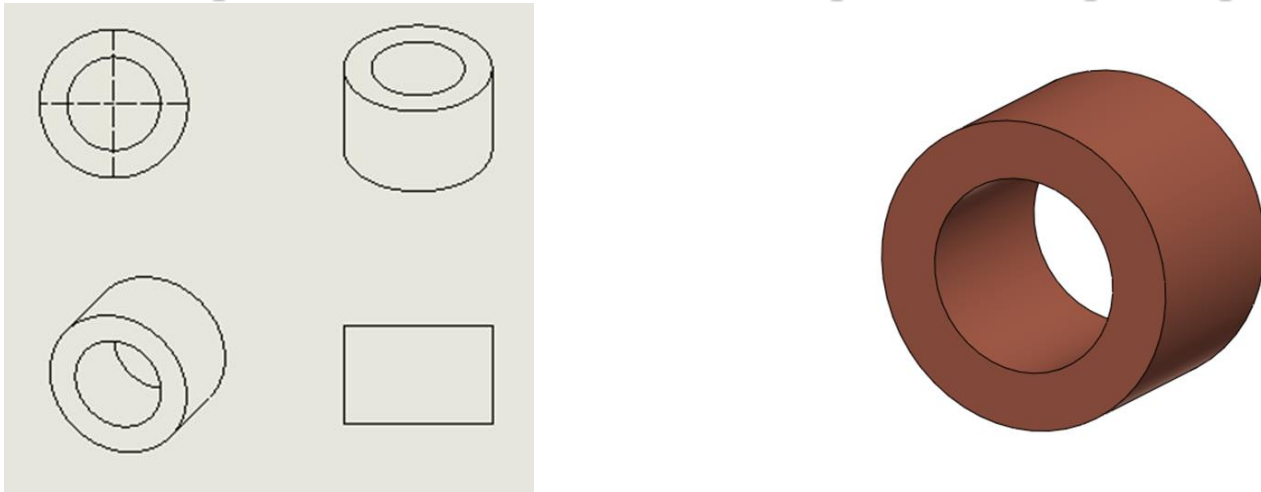


Figure III.3 L'inducteur (stator) dans SolidWorks

### III.3.3 L'induit (rotor) dans SolidWorks :

Dans une machine électrique comme un moteur ou un générateur, l'**induit** plus communément appelé **rotor** représente la **partie mobile** qui tourne à l'intérieur du stator. Il est directement impliqué dans la conversion d'énergie (mécanique en électrique, ou inversement), ce qui en fait un **élément fondamental** à modéliser dans un projet sur **SolidWorks**.

#### Étapes de modélisation dans SolidWorks :

La conception de l'induit commence par la création de l'**arbre** (ou axe), autour duquel s'enroulent ou se montent les autres éléments :

- ✚ **Les tôles d'induit**, souvent empilées pour former un noyau magnétique,
- ✚ **Les encoches ou fentes**, destinées à accueillir les enroulements de cuivre,
- ✚ Parfois, **le collecteur**, dans le cas d'un générateur ou moteur à courant continu.

La modélisation passe par :

- ✚ **Des esquisses précises** en 2D (souvent sur des plans de coupe longitudinaux ou radiaux),
- ✚ **Des opérations** comme l'**extrusion**, la **révolution** ou les **motifs circulaires** pour construire les volumes,
- ✚ **L'utilisation d'assemblages** pour vérifier l'alignement et les jeux mécaniques avec le stator.

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

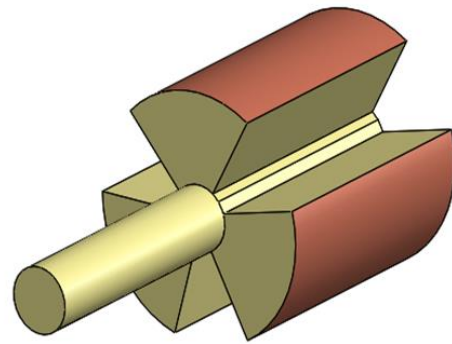
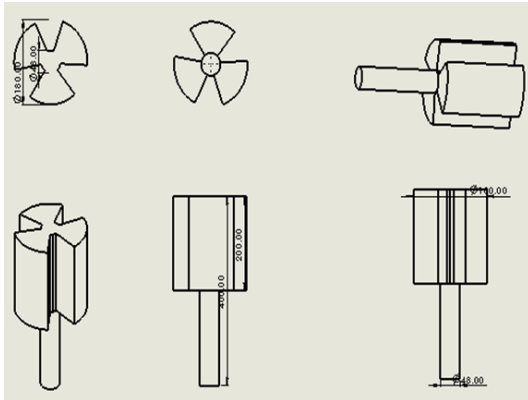


Figure III.4 L'induit (rotor) dans SolidWorks

### III.4 Le couvercle extérieur du générateur dans SolidWorks : protection, fixation et précision de conception

Dans la conception d'un **générateur électrique**, le **couvercle extérieur** joue un rôle à la fois **mécanique** et **protecteur**. Il s'agit de l'élément qui vient **fermer l'enveloppe du générateur** souvent à l'avant et à l'arrière pour **protéger les composants internes** (stator, rotor, balais, etc.) tout en assurant la **rigidité de l'ensemble**.

#### Objectifs de la pièce :

Le couvercle sert :

- ✚ À **protéger** les composants sensibles de la poussière, de l'humidité et des chocs externes,
- ✚ À permettre le **montage et l'alignement de l'arbre** du rotor via un roulement (palier),
- ✚ Parfois à intégrer des **grilles de ventilation** ou des ouvertures pour la dissipation thermique,
- ✚ Et à offrir une **surface de fixation** pour vis ou boulons, assurant la stabilité de l'assemblage.

#### Modélisation sur SolidWorks :

Sur **SolidWorks**, le couvercle extérieur est généralement modélisé comme une pièce indépendante, selon les étapes suivantes :

- ✚ **Création d'une esquisse circulaire** (le plus souvent), correspondant au diamètre du stator ou du corps du générateur,
- ✚ Utilisation d'**une extrusion** pour donner l'épaisseur souhaitée,

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

- ✚ Ajout de **perçages** pour les vis de fixation, d'un **alésage central** pour le passage de l'arbre, et éventuellement de **détails comme des nervures ou des ouvertures de ventilation**

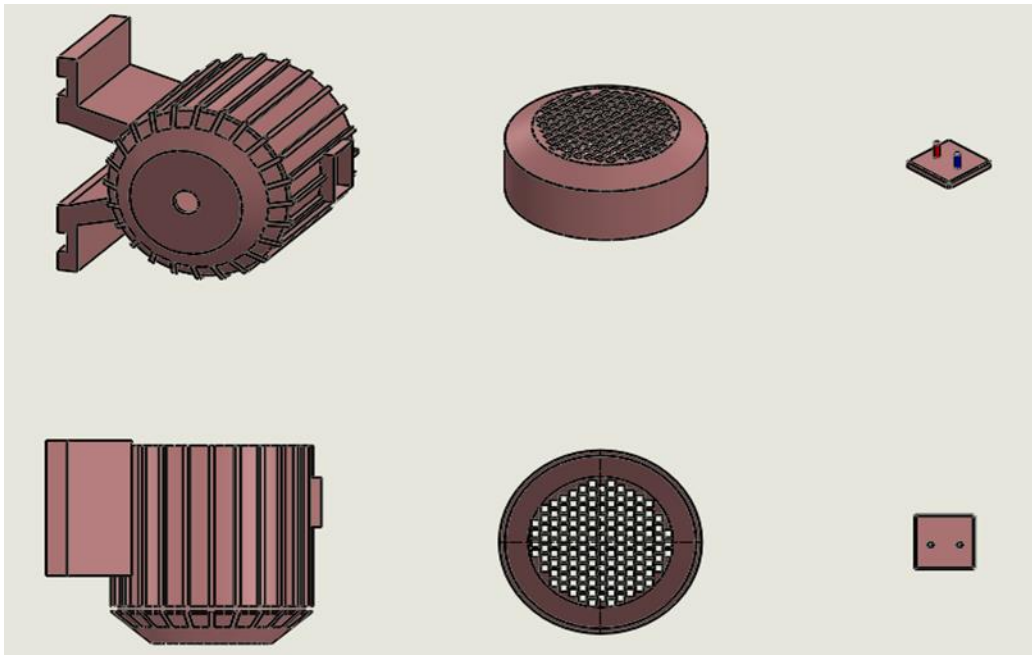


Figure III.5 Le couvercle extérieur du générateur dans SolidWorks

### III.5 La roue dans SolidWorks : un élément de liaison et de mouvement à modéliser avec précision :

Dans la conception mécanique, la **roue** est une pièce essentielle dès qu'il s'agit de **transmettre un mouvement** ou de **supporter une charge**. Que ce soit une **roue de véhicule**, une **roue dentée** dans un engrenage, ou même une **poulie**, ce composant est omniprésent dans les systèmes mécaniques. Sur **SolidWorks**, sa modélisation fait appel à des techniques précises qui allient **géométrie**, **fonctionnalité**, et **réalisme technique**.

#### Types de roues modélisées dans SolidWorks :

Selon le projet, une "roue" peut prendre plusieurs formes :

- ✚ **Roue simple** (comme sur un chariot, un vélo ou une machine),
- ✚ **Roue dentée** (engrenage),
- ✚ **Roue libre ou volant d'inertie**,

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

- + **Poulie** (si elle entraîne une courroie),
- + **Roue crantée** (dans des systèmes de translation).

### Étapes de conception

- + **Esquisse du profil** : on commence souvent par dessiner une section 2D (profil circulaire, moyeu, jante, etc.).
- + **Extrusion** pour créer l'épaisseur de la roue.
- + **Ajout de détails** : perçages, gorges, nervures, axes, ou encore **motifs circulaires** pour créer des dents ou des perforations régulières.
- + Si c'est une **roue dentée**, on peut utiliser la **bibliothèque de Toolbox de SolidWorks**, qui contient des engrenages standards personnalisables (module, nombre de dents, etc.).

### Intégration dans un assemblage :

Une fois modélisée, la roue est souvent insérée dans un **assemblage mécanique** (comme un système de transmission ou un châssis). Elle peut être liée par des **mates de concentricité, de contact, ou de rotation**, permettant ainsi de simuler le **mouvement** dans l'environnement 3D.

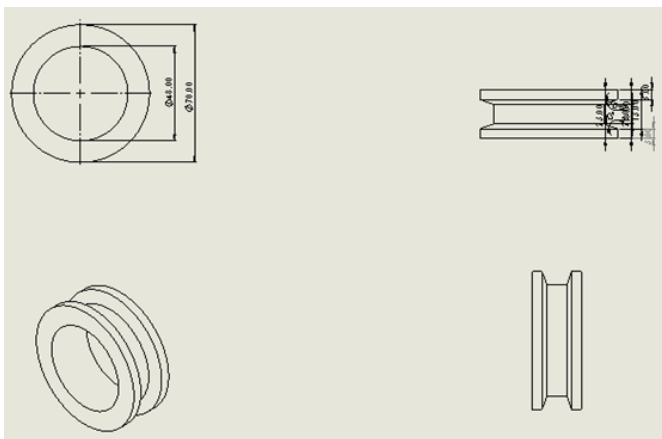


Figure III. 6: La roue dans SolidWorks

### III.6 Les batteries dans SolidWorks : modélisation d'un composant clé dans les systèmes électriques :

Dans le cadre d'un projet de conception sur **SolidWorks**, il est fréquent d'avoir besoin de **modéliser une batterie** que ce soit pour un système embarqué, un appareil portable, un générateur autonome, ou même un

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

véhicule électrique. Bien que la batterie soit un composant **électrique** par nature, sa **forme physique** et son intégration mécanique dans un système exigent une modélisation soignée sur le plan géométrique.

### Objectifs de la modélisation d'une batterie :

Dans SolidWorks, la modélisation d'une batterie a pour but :

- ✚ De **représenter fidèlement le volume** qu'elle occupe,
- ✚ De **permettre son intégration dans l'assemblage global** (boîtier, support, connecteurs),
- ✚ De servir à des **études d'encombrement, de ventilation ou de montage**,
- ✚ Et parfois, de **préparer la conception d'un pack de batteries personnalisé**.

### Étapes typiques de modélisation :

- ✚ **Récupération des dimensions réelles** : à partir d'une fiche technique (ex : batterie lithium-ion 18650, batterie plomb-acide, etc.).
- ✚ **Esquisse du profil** : souvent rectangulaire (bloc) ou cylindrique.
- ✚ **Extrusion ou révolution** selon le type.
- ✚ **Ajout de détails** : bornes (+/-), étiquettes, connecteurs, événements, ou même formes de sécurité.
- ✚ **Couleurs et apparence** : pour différencier visuellement les polarités ou les types (utile dans un rendu réaliste).

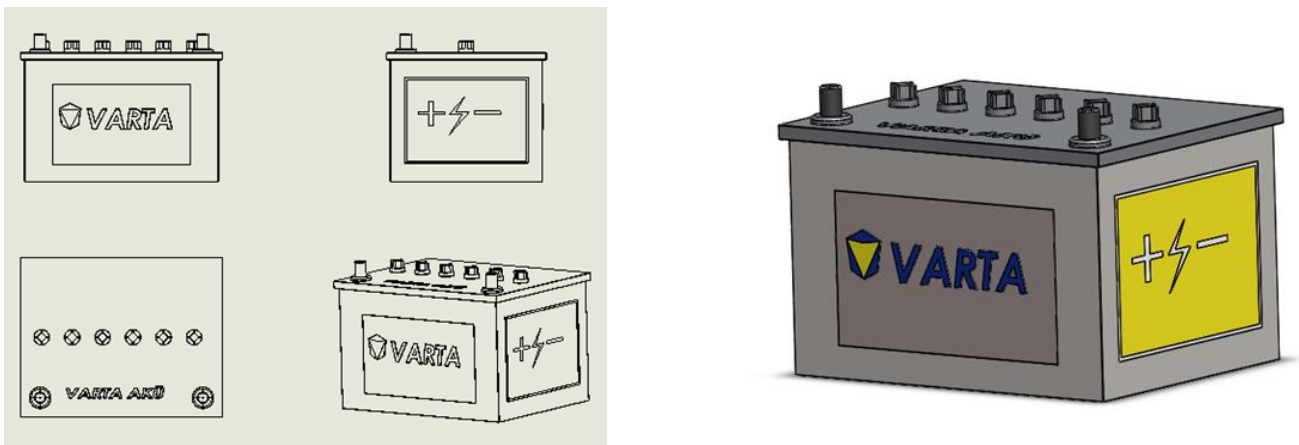


Figure III.7 : Les batteries dans SolidWorks

## ***Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype***

### **III.7 Le régulateur de charge MLI (PWM) dans SolidWorks : modéliser un composant électronique à fort enjeu énergétique :**

Le régulateur de charge MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion, ou PWM en anglais) est un **élément indispensable dans un système photovoltaïque** ou tout autre montage à énergie renouvelable. Il sert à **gérer le flux d'énergie entre un panneau solaire et une batterie**, en contrôlant la tension et le courant pour éviter la surcharge ou la décharge profonde.

#### **Pourquoi modéliser un régulateur dans SolidWorks ?**

Même si le régulateur est avant tout un **composant électronique**, sa modélisation 3D dans SolidWorks a toute sa place dans un projet, car :

- ✚ Il possède un **boîtier physique** qui doit être intégré dans un **coffret**, un **support**, ou un **châssis**,
- ✚ Il doit être **accessible** pour le câblage, le refroidissement et les opérations de maintenance,
- ✚ Il est souvent fixé à l'aide de vis, de clips ou de rails DIN, ce qui nécessite une **intégration mécanique précise**.

#### **Étapes de modélisation dans SolidWorks :**

- ✚ **Collecte des dimensions réelles** : issues d'une fiche technique (ex : Victron, Epever, ou modèle générique).
- ✚ **Esquisse de la face principale** : généralement rectangulaire avec des coins arrondis.
- ✚ **Extrusion** pour créer le volume du boîtier.
- ✚ **Ajout des détails** :
  - Fentes de ventilation ou ailettes,
  - Connecteurs (bornes à vis, ports USB, afficheur LCD),
  - Trous de fixation ou rainures.

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

Apparence et étiquettes : on peut appliquer des textures, couleurs, ou même insérer des logos pour plus de réalisme

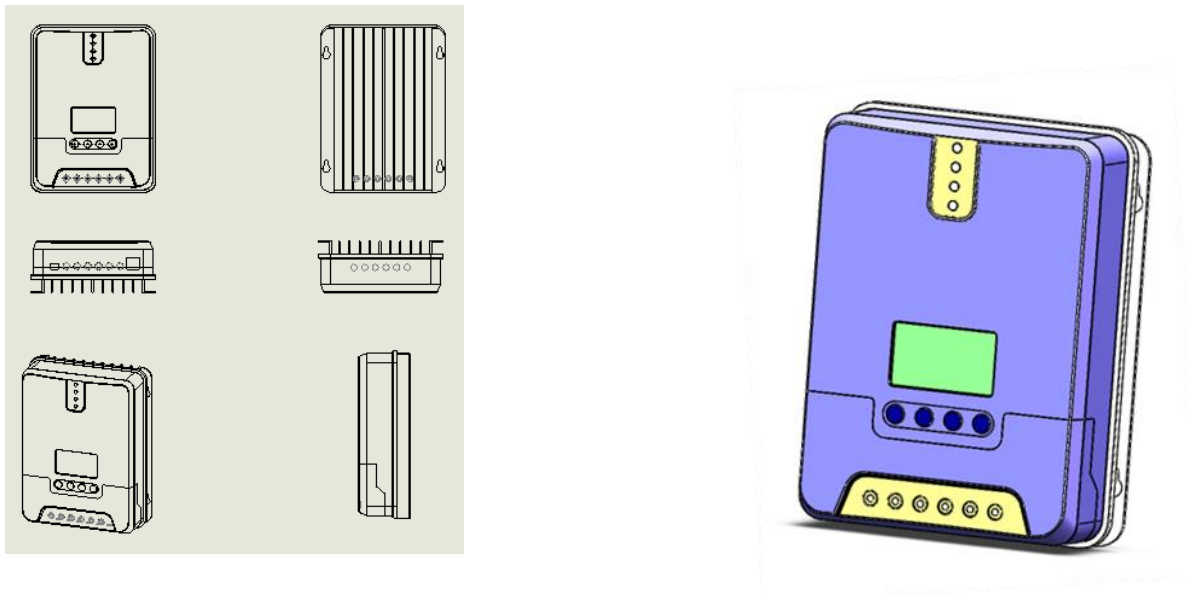


Figure III.8 : Le régulateur de charge MLI (PWM) dans SolidWorks

### III.8 Le vélo stationnaire dans SolidWorks : entre ergonomie, mécanique et innovation

Le **vélo stationnaire** est un équipement incontournable dans le domaine du sport, de la rééducation et, de plus en plus, dans les projets liés à la **production d'énergie manuelle**. Sur **SolidWorks**, sa modélisation constitue un excellent exercice de conception **mécanique complexe**, mêlant **mobilité, ergonomie et assemblage précis**.

#### Objectif de la modélisation :

Modéliser un vélo stationnaire dans SolidWorks permet de :

- ✚ Étudier la **structure mécanique** (châssis, pédalier, système de résistance),
- ✚ Concevoir une **géométrie ergonomique** adaptée à l'utilisateur (réglage de selle, guidon, posture),
- ✚ Simuler des **mouvements** ou intégrer des systèmes complémentaires (générateur, capteurs, support mobile, etc.),
- ✚ Préparer une **fabrication réelle** ou une **présentation réaliste** pour un projet académique ou industriel.

#### Composants principaux à modéliser :

- ✚ **Châssis** : base rigide assurant la stabilité ; souvent en tube métallique, modélisé à partir d'esquisses 2D puis extrusions ou structures soudées.

## ***Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype***

- ✚ **Selle et support réglable** : modélisation paramétrée pour représenter les ajustements en hauteur ou en inclinaison.
- ✚ **Guidon** : forme ergonomique, avec ou sans capteurs de pouls, fixé à l'avant du châssis.
- ✚ **Pédalier et manivelles** : composant clé qui permet la rotation, modélisé en détail avec un système d'axe, de pédales et parfois de chaîne.
- ✚ **Système de résistance** : volant d'inertie, aimants, ou même frein mécanique à intégrer dans le modèle si nécessaire.
- ✚ **Pieds antidérapants ou roulettes** : pour assurer la stabilité au sol.

### **Outils SolidWorks utilisés :**

- ✚ **Esquisses précises** pour les profils des tubes et des supports,
- ✚ **Fonction "Structure soudée"** pour le cadre métallique,
- ✚ **Assemblage** pour organiser tous les composants et tester les mouvements,
- ✚ **Contrainte mécanique (mates)** pour simuler les rotations, glissements ou blocages,
- ✚ **Simulation (optionnel)** pour analyser les efforts, la stabilité ou l'usure.

### **Applications concrètes :**

Un vélo stationnaire modélisé dans SolidWorks peut être utilisé dans :

- ✚ Un projet de **générateur d'énergie à pédale** (par exemple, production de courant avec un moteur DC),
- ✚ Un **projet de fin d'études** en mécanique ou électromécanique,
- ✚ La **création de prototypes sportifs personnalisés** ou connectés (ex. : vélo avec affichage des données en temps réel),
- ✚ Des études en **design industriel ou ergonomie**.

## *Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype*



**Figure 8.9: Le vélo stationnaire dans SolidWorks**

### **III.9 Modélisation finale de l'ensemble mécanique dans un espace public :**

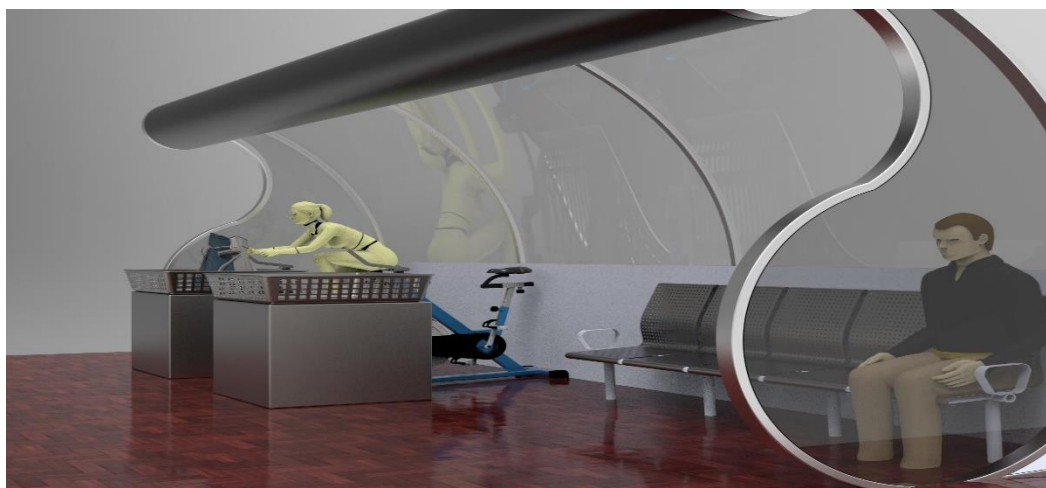
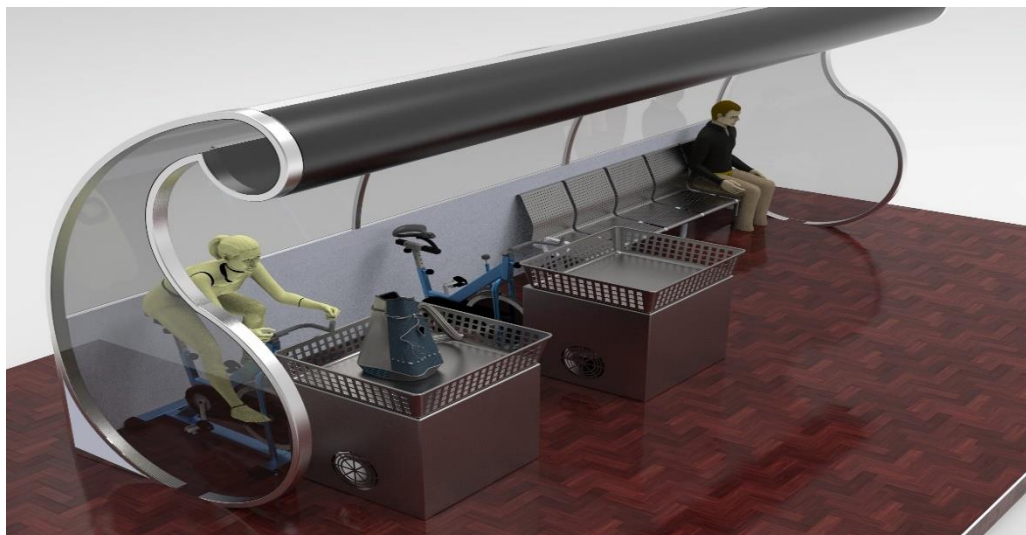
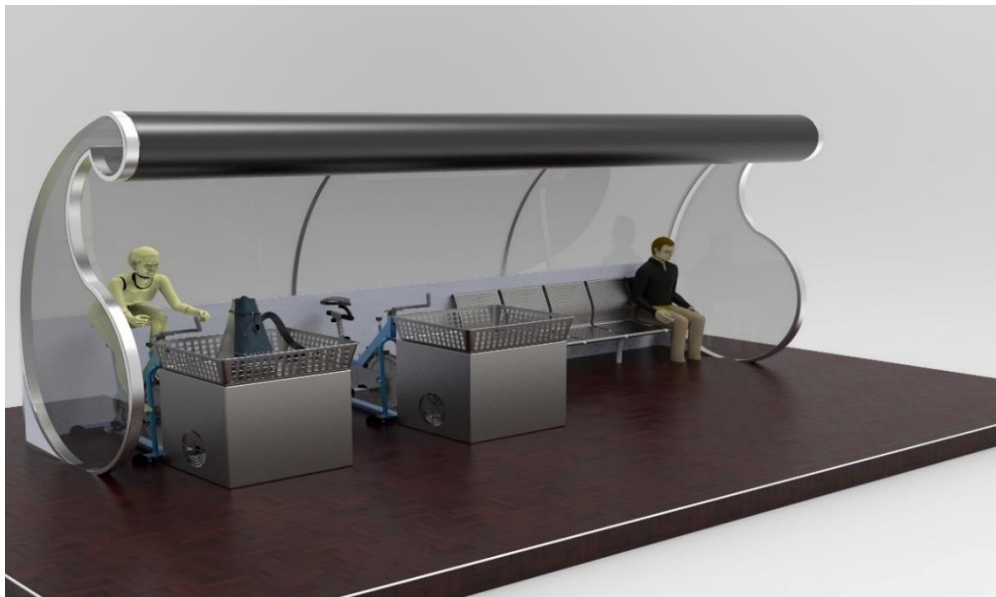
Dans le cadre de l'intégration du projet dans un environnement réel, une modélisation tridimensionnelle (3D) a été réalisée afin de représenter une station publique couverte, intégrant un système de production d'énergie à partir de vélos stationnaires.

La première image (**Figure III.10**) illustre une station innovante équipée de deux vélos fixes orientés vers des boîtiers techniques contenant les principaux composants du système :

- ✚ **Un générateur électrique à courant continu (DC)**, relié à la roue du vélo à l'aide d'un **système de transmission par courroie**.
- ✚ **Un régulateur de charge de type MLI (PWM)**, intégré dans le boîtier, assurant la régulation de la tension et la protection de la batterie contre la surcharge.
- ✚ **Des batteries rechargeables**, servant à stocker l'énergie produite par l'utilisateur du vélo.

### **Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype**

Cette station est également dotée de bancs pour les usagers et d'une structure semi-transparente qui protège contre les conditions climatiques. L'ensemble vise à offrir une solution à la fois pratique, écologique et encourageant l'activité physique citoyenne au service de la production d'énergie propre.



**Figure III.10 : une station innovante équipée de deux vélos fixes orientés**

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

La deuxième image (Figure III.11) présente une vue plus détaillée du système dans sa forme simplifiée :

- ✚ Le vélo stationnaire est connecté mécaniquement à un générateur par une courroie de transmission.
- ✚ La sortie du générateur est reliée au régulateur de charge, puis à une batterie
- ✚ Ce montage permet de transformer l'énergie mécanique issue du pédalage en énergie électrique stockée.

Ce design repose sur les modèles détaillés dans ce chapitre, où chaque composant vélo, générateur, batterie, et régulateur a été modélisé à l'aide du logiciel SolidWorks. Cela reflète une parfaite cohérence entre l'étude théorique et l'implémentation pratique

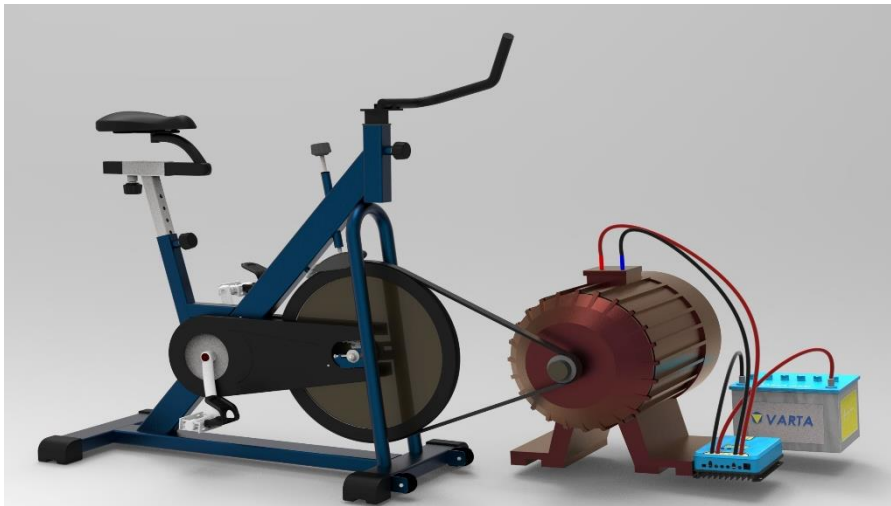


Figure9.11: système format 3D

### III.10 Modélisation Électrique dans Simulink / Matlab :

Afin de valider le fonctionnement électrique de notre système de production d'énergie par pédalage, nous avons utilisé l'environnement de simulation dynamique **Simulink**, intégré au logiciel **Matlab**. Cette modélisation permet d'étudier le comportement du **générateur à courant continu (DC)** lorsqu'il est entraîné mécaniquement, et d'observer les grandeurs électriques telles que la **tension générée**, le **courant**, et le **couple électromagnétique**.

### III.11 Objectif de la simulation

Le but de cette simulation est de :

- ✚ Reproduire le fonctionnement réel du générateur dans un environnement virtuel ;
- ✚ Visualiser la tension générée en fonction de la vitesse de rotation ;
- ✚ Identifier le comportement du système sans charge ou sous diverses conditions de charge ;
- ✚ Vérifier les lois physiques et électriques régissant le générateur.

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

### III.12 Schéma fonctionnel sous Simulink

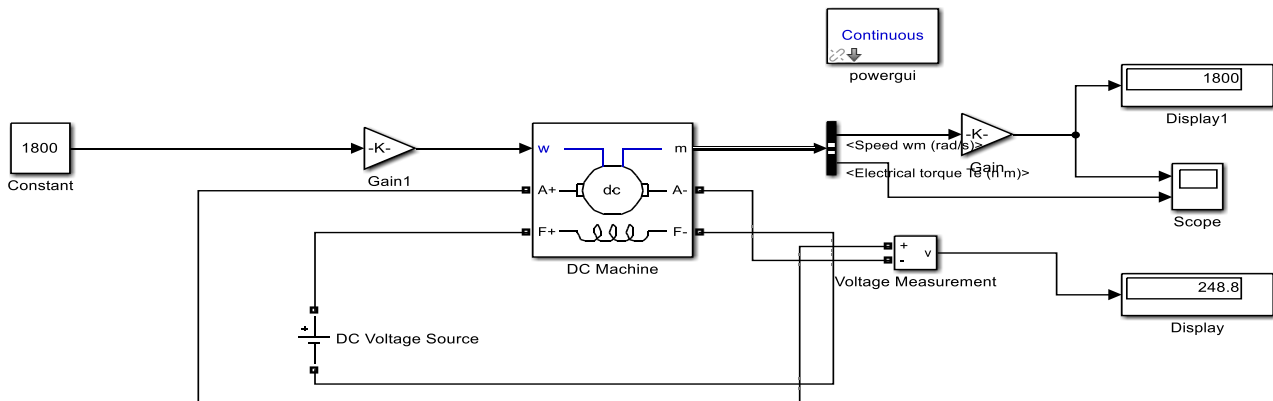


Figure III.12 Schéma fonctionnel sous Simulink

### III.13 Résultats de simulation

Les résultats de simulation indiquent que :

- À une vitesse angulaire de **1800 tr/min** (soit **188.5 rad/s**), la tension générée atteint **environ 248.8 V**.
- Le couple électromagnétique est nul dans le cas d'une machine non chargée (aucune résistance connectée).

Cela montre que le générateur fonctionne correctement en régime de tension induite proportionnelle à la vitesse.

### III.14 Simulation avec Automation Studio :

Dans le but de compléter l'analyse fonctionnelle de notre système de production d'énergie, nous avons également effectué une simulation sous **Automation Studio**, un logiciel dédié à la modélisation et à la simulation de systèmes électrotechniques, hydrauliques et pneumatiques.

Cette simulation permet de représenter un **système réaliste** d'alimentation, de régulation et de stockage d'énergie issue du pédalage.

### III.15 Schéma du circuit simulé

La figure suivante illustre le schéma électrique simulé dans Automation Studio :

**Composants présents dans le schéma :**

- ✚ **Générateur DC (G)** : représenté en haut à gauche, il est alimenté par une tension de 24 V.
- ✚ **Régulateur PWM** : bloc central permettant de moduler le courant vers la batterie.
- ✚ **Moteur (MA1)** : agit comme charge électromécanique en rotation (ou peut simuler l'action d'un vélo).

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

- ✚ Batterie (GB2) : stocke l'énergie produite par le système.
- ✚ Multimètre : mesure les grandeurs électriques dans différents points du circuit.

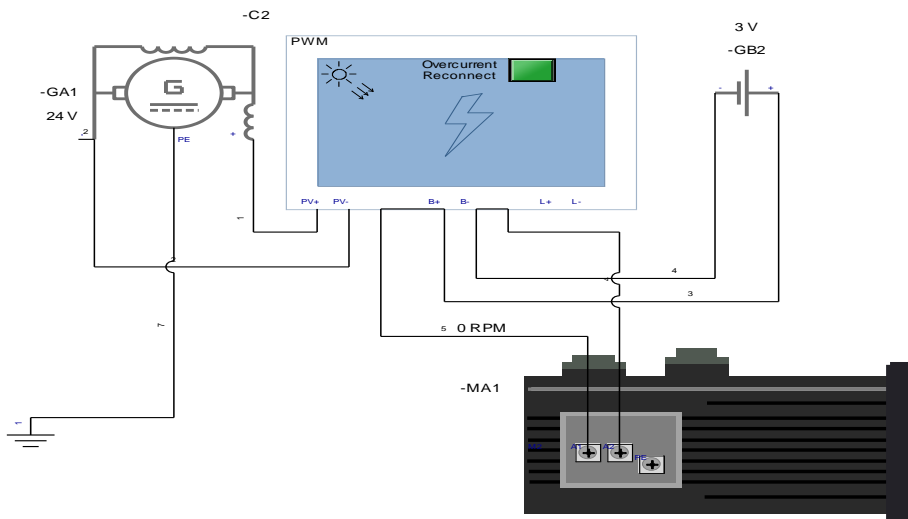


Figure III.13 : Schéma du circuit simulé

### III.16 Comportement dynamique :

Lors de la simulation :

- ✚ Le générateur est entraîné à une vitesse de rotation de **489.78 tr/min** (affichée en temps réel dans le système).
- ✚ Le régulateur PWM joue le rôle d'un **intermédiaire de commande**, régulant le transfert de puissance vers la batterie en fonction de l'état du circuit.
- ✚ Le multimètre permet de lire en direct les **valeurs de tension, courant et résistance**, ce qui est utile pour tester des cas de surcharge ou de décharge.

### III.17 Complémentarité avec Simulink :

Contrairement à Simulink, qui se concentre sur les équations dynamiques et les modèles continus, Automation Studio permet de :

- ✚ **Visualiser un montage réaliste** de type industriel (avec câblage, boîtier, batteries, etc.) ;
- ✚ Ajouter des éléments comme **des relais, des fusibles, des interrupteurs réels**.
- ✚ Tester l'intégration de **composants physiques** (afficheurs, boutons, capteurs).

## Chapitre 03 : Modélisation mécanique et électrique du prototype

Ainsi, ce logiciel est particulièrement adapté pour la **préparation à l'implémentation physique** du système

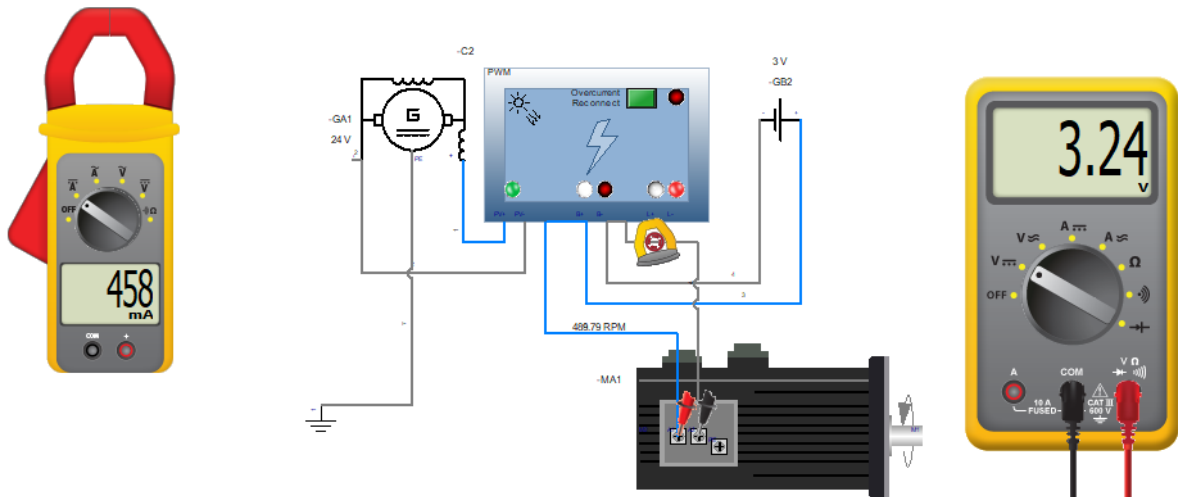


Figure III.14 : Schéma du circuit simulé

### III.18 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la modélisation détaillée de l'ensemble des composants de notre système de production d'énergie à l'aide d'un vélo stationnaire, en utilisant le logiciel SolidWorks. Chaque élément qu'il s'agisse du générateur, du régulateur de charge, des batteries, ou encore de la structure physique du vélo a été modélisé selon des dimensions réelles et en tenant compte des contraintes d'installation dans un espace public.

Cette étape de conception assistée par ordinateur a permis non seulement de visualiser concrètement l'agencement du système, mais aussi d'anticiper d'éventuelles incompatibilités mécaniques ou électriques. Elle constitue ainsi une base solide pour passer à la phase de réalisation physique.

La modélisation constitue une étape cruciale pour valider les choix techniques effectués dans les chapitres précédents et garantit la cohérence de l'ensemble du projet. Le chapitre suivant sera dédié à la mise en œuvre pratique du système, à travers la réalisation des prototypes, les essais expérimentaux et l'analyse des résultats obtenus.

## **CHAPITRE IV :**

# **PROTOTYPAGE ELECTRONIQUE ET PROGRAMMATION**

# ***Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation***

## **IV.1 Introduction :**

Après avoir défini l'architecture générale du système et sélectionné les composants adaptés dans les chapitres précédents, ce chapitre est dédié à la concrétisation du projet à travers la réalisation d'une maquette fonctionnelle. Cette étape essentielle permet de valider les choix théoriques par l'expérimentation pratique, en intégrant les différents éléments mécaniques, électriques et électroniques.

Nous présenterons dans un premier temps l'assemblage physique du système, en détaillant le rôle et le branchement de chaque composant (générateur, capteur de courant, lecteur RFID, ESP32, etc.). Ensuite, nous décrirons le processus de collecte et d'enregistrement des données via Google Sheets. Enfin, nous exposerons les tests effectués, accompagnés des résultats observés, afin d'évaluer les performances globales du système et son efficacité dans un environnement réel

## **IV.2 composants électroniques :**

### **IV.2.1 Définition de l'ESP32 :**

L'ESP32 est un microcontrôleur développé par la société Espressif Systems, basé en Chine. Il s'agit d'une puce électronique très populaire dans le domaine de l'électronique embarquée et de l'Internet des objets (IoT). Successeur du célèbre ESP8266, l'ESP32 est apprécié pour ses performances améliorées, sa consommation d'énergie optimisée et ses nombreuses fonctionnalités intégrées.

Ce microcontrôleur intègre un processeur double cœur Tensilica Xtensa LX6, pouvant fonctionner à une fréquence allant jusqu'à 240 MHz. Il dispose également de plusieurs interfaces de communication telles que le Wi-Fi, le Bluetooth (y compris le Bluetooth Low Energy), ainsi que de nombreuses broches d'entrées/sorties (GPIO), ce qui le rend très polyvalent.

Grâce à ses caractéristiques techniques, l'ESP32 est utilisé dans de nombreux projets électroniques, allant des objets connectés aux systèmes domotiques, en passant par les dispositifs portables et les capteurs intelligents. Il est compatible avec plusieurs environnements de développement, notamment l'IDE Arduino, PlatformIO et MicroPython, ce qui facilite son utilisation par les débutants comme par les professionnels.

En résumé, l'ESP32 est une solution puissante, économique et flexible pour le développement de systèmes électroniques connectés. [32]

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation



Figure 10:ESP32 30pin

### IV.2.2. Définition du module RFID-RC522 :

Le **RFID-RC522** est un module de lecture et d'écriture sans contact basé sur la technologie RFID (Radio Frequency Identification). Il est conçu autour de la puce MFRC522, fabriquée par la société NXP Semiconductors. Ce module permet la communication avec des cartes ou des badges RFID fonctionnant à une fréquence de **13,56 MHz**, souvent utilisés pour l'identification et le contrôle d'accès.

Le RC522 est largement utilisé dans les projets électroniques et les systèmes embarqués en raison de son **coût réduit**, de sa **faible consommation d'énergie**, et de sa **facilité d'intégration**. Il communique généralement avec les microcontrôleurs comme l'Arduino ou l'ESP32 via une interface SPI (Serial Peripheral Interface), bien qu'il puisse aussi utiliser les interfaces I2C ou UART selon les besoins.

Le module est capable de lire et d'écrire des données sur des cartes compatibles avec la norme **ISO/IEC 14443A**, telles que les cartes MIFARE. Il est souvent livré avec une carte et un porte-clé RFID pour les tests et les projets.

Ce type de module est utilisé dans plusieurs applications pratiques telles que les systèmes de pointage, les serrures électroniques, les systèmes de billetterie, et les projets de domotique ou d'automatisation. [33]

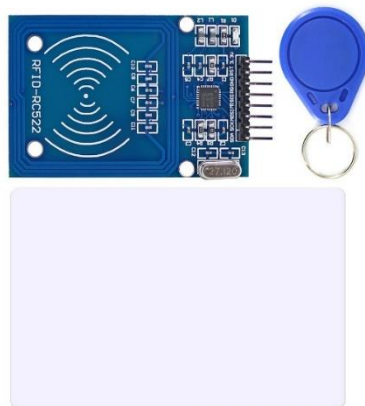


Figure IV.2 module RFID-RC522



## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

lorsqu'un courant passe dans sa bobine, il génère un champ magnétique qui **ferme (ou ouvre)** un ou plusieurs contacts, permettant ainsi de contrôler un autre circuit.

Le relais est très utilisé pour **isoler deux parties d'un système**, par exemple pour permettre à un microcontrôleur (comme un Arduino) de **commander une charge de forte puissance** (moteur, lampe, pompe, etc.) sans contact direct entre les deux circuits.

Il existe différents types de relais :

- ✚ **Relais électromécaniques classiques**, avec des contacts physiques qui bougent.
- ✚ **Relais statiques**, sans pièces mobiles, utilisant des composants électroniques.

Les relais sont souvent caractérisés par :

- ✚ **La tension de commande** (ex. : 5V, 12V...),
- ✚ **Le courant ou la tension maximale supportée par les contacts**,
- ✚ **Le type de contact** (NO : normalement ouvert, NC : normalement fermé).

Grâce à leur fiabilité et leur capacité à gérer des charges élevées, les relais sont présents dans de nombreux domaines : **automatisation, domotique, véhicules, systèmes industriels**, etc. [35]



Figure 11: relais

### IV.2.5 Définition d'un buzzer :

Un **buzzer** est un **composant électronique** utilisé pour **produire un son ou un signal sonore**, généralement sous forme de **bip** ou de **vibration sonore continue ou intermittente**. Il est souvent utilisé comme **dispositif d'alerte ou de signalisation** dans les systèmes électroniques.

Il existe deux principaux types de buzzers :

- **Le buzzer passif** : il nécessite un signal électrique alternatif (comme un signal PWM) pour produire un son. Il ne contient pas de circuit interne de génération de son.
- **Le buzzer actif** : il contient un oscillateur interne. Il suffit de l'alimenter avec une tension continue (comme 5V) pour qu'il émette un son automatiquement.

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

Les buzzers sont largement utilisés dans de nombreux appareils : **montres, alarmes, minuteriers, microcontrôleurs, machines industrielles**, etc. Leur rôle est d'**avertir l'utilisateur** par un son en cas d'erreur, de fin de cycle, de dépassement de seuil, ou tout autre événement programmé.

Ils sont simples à utiliser, peu coûteux, et très pratiques pour **ajouter un retour sonore** dans un projet électronique. [36]



Figure IV.5: BUZZER

### IV.3 Présentation du projet et justification des composants

Ce projet s'inscrit dans une démarche à la fois technologique et écoresponsable : il vise à valoriser l'effort humain pour produire de l'électricité à l'aide d'un vélo générateur, tout en assurant un suivi intelligent des utilisateurs et de la production énergétique. Le système repose sur une combinaison de plusieurs composants électroniques clés, chacun ayant un rôle précis et justifié dans le fonctionnement global du dispositif

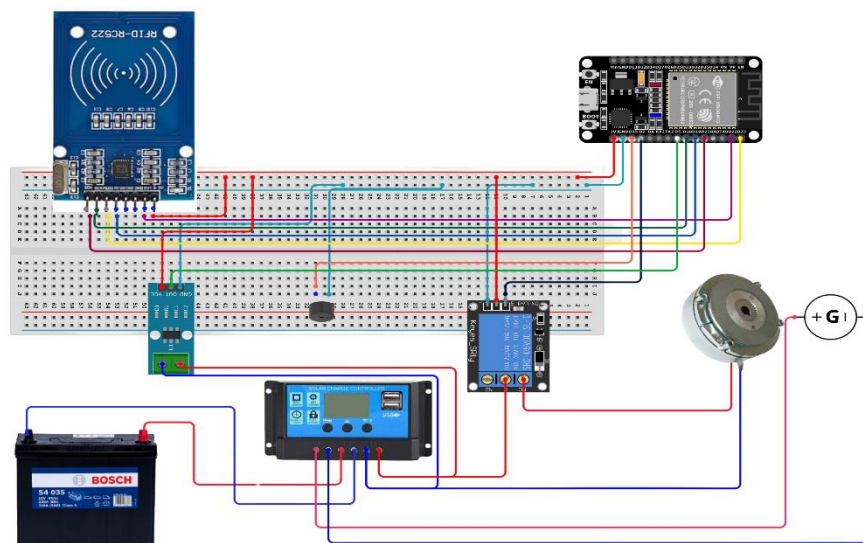


Figure IV.6 schéma global

#### IV.3.1 Le lecteur RFID RC522 : l'identification intelligente des utilisateurs

Le lecteur RFID RC522 permet d'identifier de manière unique chaque utilisateur grâce à une carte RFID. L'intégration de ce composant assure un accès contrôlé au système : seules les personnes autorisées peuvent

## ***Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation***

utiliser le vélo et générer de l'énergie. Cela permet non seulement de sécuriser l'utilisation de l'équipement, mais aussi de lier les données de production à des profils utilisateurs spécifiques, offrant ainsi une traçabilité complète. Cette solution est simple, fiable, peu coûteuse et largement utilisée dans les systèmes d'identification modernes

### **IV.3.2 Le capteur de courant ACS712 : mesurer l'effort et l'énergie produite**

Le capteur ACS712 est essentiel pour mesurer le courant électrique généré par le vélo. Il permet d'évaluer en temps réel la quantité d'énergie produite, et donc l'intensité de l'effort physique fourni. Cette donnée est cruciale car elle permet de quantifier objectivement la contribution de chaque utilisateur. En fonction de l'énergie générée, le système peut ensuite attribuer des crédits, enregistrer des performances ou détecter d'éventuelles anomalies. Ce capteur à effet Hall offre une mesure fiable et sécurisée du courant alternatif ou continu

### **IV.3.4 La carte ESP32 : le cerveau connecté du système**

La carte ESP32 joue un rôle central dans le projet. Grâce à sa connectivité Wi-Fi intégrée, elle permet d'envoyer automatiquement les données (identité de l'utilisateur, courant produit, durée d'utilisation, etc.) vers une feuille de calcul Google Sheets en ligne. Cette intégration avec le cloud permet de conserver un historique complet des sessions, consultable à distance via un simple navigateur web ou une application mobile. En plus de la connectivité, l'ESP32 gère aussi la logique de contrôle du relais, du buzzer, et la lecture des données issues des capteurs

### **IV.3.5 Le relais : sécurité et contrôle du système de freinage :**

Un relais est utilisé pour activer ou désactiver un électrofrein connecté au vélo. Ce système de freinage est contrôlé par la carte ESP32 en fonction de la détection RFID. Si une carte non autorisée est présentée, le relais ne s'enclenche pas, et le frein reste activé, empêchant le vélo de tourner. À l'inverse, lors d'une authentification réussie, le relais désactive le frein, permettant à l'utilisateur de pédaler librement. Ce mécanisme garantit un contrôle physique sur l'accès au vélo, en plus du contrôle numérique.

### **IV.3.6 Le buzzer : retour immédiat à l'utilisateur :**

Un buzzer est intégré au système pour fournir un retour sonore instantané lors de certaines actions, telles que la lecture d'une carte RFID ou une erreur d'identification. Ce retour simple mais efficace permet d'informer l'utilisateur sans avoir besoin d'un écran, rendant l'interface plus intuitive.

## **IV.4 Intégration Google Sheets : journalisation et supervision à distance**

Les données collectées sont automatiquement transmises à une feuille Google Sheets grâce à la carte ESP32. Cette solution permet une supervision centralisée, un suivi précis de la production d'électricité et des utilisateurs

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

actifs, ainsi qu'une analyse ultérieure des performances. Elle évite aussi l'usage de mémoire locale et assure une **sauvegarde automatique dans le cloud**, accessible à tout moment

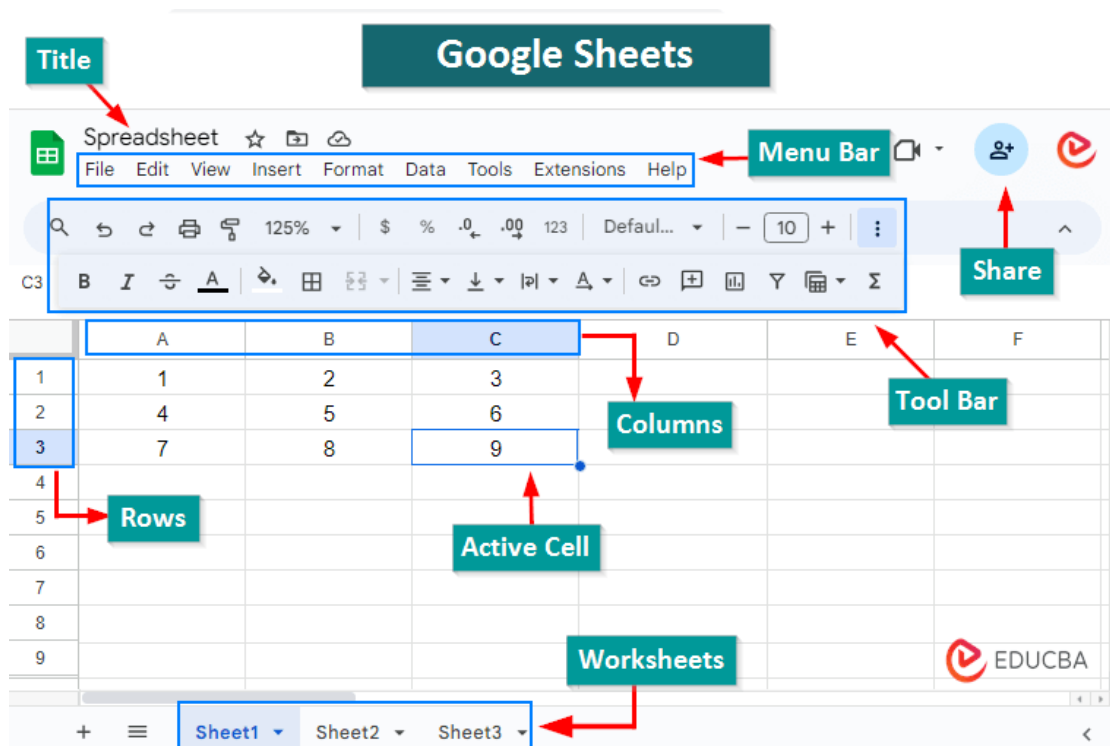


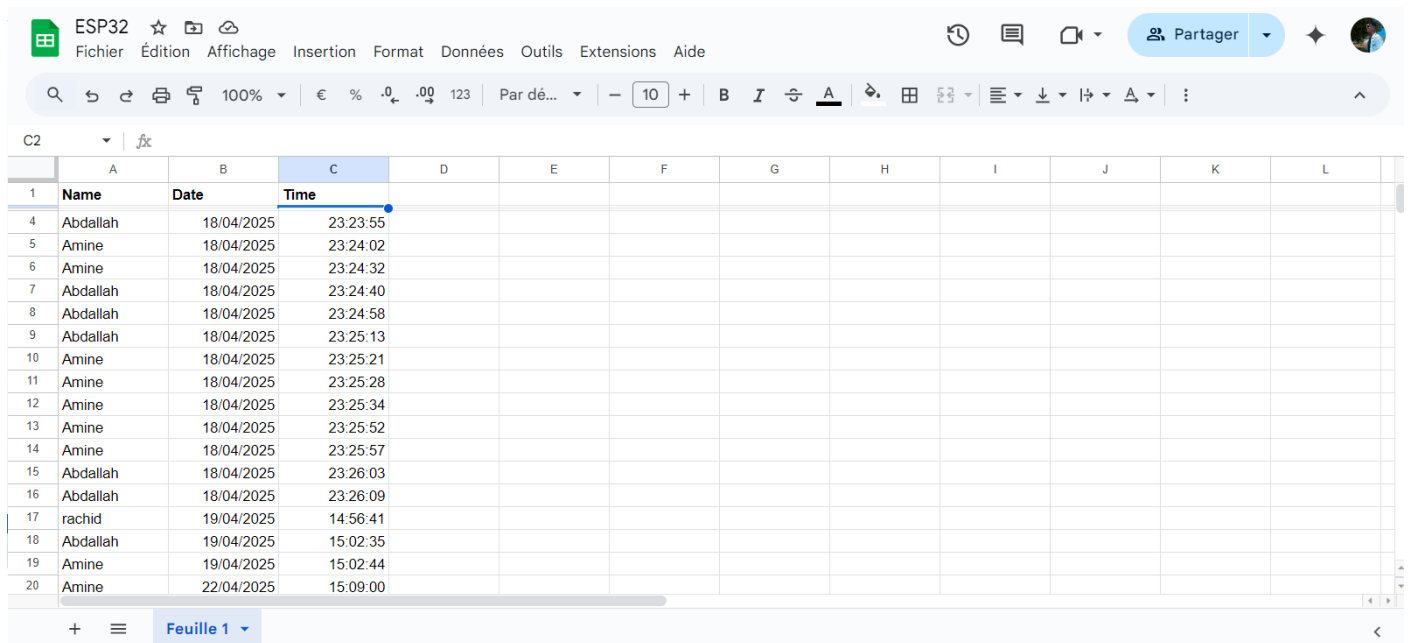
Figure IV.7 GOOGLE SHEETS

### IV.5 Étapes de connexion ESP32 → Google Sheets :

#### IV.5.1 Création de la feuille Google Sheets :

- ✚ Crée un nouveau document Google Sheets dans ton compte Google.
- ✚ Renomme les colonnes selon les données que tu souhaites collecter, par exemple :
  - Nom
  - Date
  - Heure

# Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Name	Date	Time									
4	Abdallah	18/04/2025	23:23:55									
5	Amine	18/04/2025	23:24:02									
6	Amine	18/04/2025	23:24:32									
7	Abdallah	18/04/2025	23:24:40									
8	Abdallah	18/04/2025	23:24:58									
9	Abdallah	18/04/2025	23:25:13									
10	Amine	18/04/2025	23:25:21									
11	Amine	18/04/2025	23:25:28									
12	Amine	18/04/2025	23:25:34									
13	Amine	18/04/2025	23:25:52									
14	Amine	18/04/2025	23:25:57									
15	Abdallah	18/04/2025	23:26:03									
16	Abdallah	18/04/2025	23:26:09									
17	rachid	19/04/2025	14:56:41									
18	Abdallah	19/04/2025	15:02:35									
19	Amine	19/04/2025	15:02:44									
20	Amine	22/04/2025	15:09:00									

Figure IV.8 Google Sheets

## IV.5.2 Ajout du script Google Apps Script :

Dans Google Sheets :

 Va dans Extensions → Apps Script



```
App Script ESP32 Modifications non enregistrées Déployer
```

```
Fichiers Code.gs Bibliothèques Services
```

```
1 var ss = SpreadsheetApp.openById('12IpaQbIfcQPWJ8BShM55Dwx9utx_fI-148Vi2ZX9c-E');
2 var sheet = ss.getSheetByName('Feuille 1'); //
3 var timezone = "Africa/Algiers"; //
4 function doGet(e) {
5   Logger.log(JSON.stringify(e));
6
7   if (!e.parameter || !e.parameter.name) {
8     return ContentService.createTextOutput("✘ Name parameter is missing");
9   }
10
11   var Curr_Date = new Date();
12   var Curr_Time = Utilities.formatDate(Curr_Date, timezone, 'HH:mm:ss');
13   var name = stripQuotes(e.parameter.name);
14
15   var nextRow = sheet.getLastRow() + 1;
16   sheet.getRange("A" + nextRow).setValue(name);
17   sheet.getRange("B" + nextRow).setValue(Curr_Date);
18   sheet.getRange("C" + nextRow).setValue(Curr_Time);
19
20   return ContentService.createTextOutput("✔ Card holder name is stored in column A");
21 }
22
23 function doPost(e) {
24   if (!e.parameter || typeof e.parameter.value === 'undefined') {
25     return ContentService.createTextOutput("✘ Value parameter is missing");
26   }
27
28   var val = stripQuotes(e.parameter.value);
29   sheet.getRange('A2').setValue(val);
30
31   return ContentService.createTextOutput("✔ Value stored in cell A2");
32 }
```

Figure IV.9 APP SCRIPTS

 Et voici le code :

```
var ss = SpreadsheetApp.openById('12IpaQbIfcQPWJ8BShM55Dwx9utx_fI-148Vi2ZX9c-E');
var sheet = ss.getSheetByName('Feuille 1'); //
var timezone = "Africa/Algiers"; //
function doGet(e) {
  Logger.log(JSON.stringify(e));

  if (!e.parameter || !e.parameter.name) {
```

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

```
return ContentService.createTextOutput("✘ Name parameter is missing");
}

var Curr_Date = new Date();
var Curr_Time = Utilities.formatDate(Curr_Date, timezone, 'HH:mm:ss');
var name = stripQuotes(e.parameter.name);

var nextRow = sheet.getLastRow() + 1;
sheet.getRange("A" + nextRow).setValue(name);
sheet.getRange("B" + nextRow).setValue(Curr_Date);
sheet.getRange("C" + nextRow).setValue(Curr_Time);

return ContentService.createTextOutput("✔ Card holder name is stored in column A");
}

function doPost(e) {
  if (!e.parameter || typeof e.parameter.value === 'undefined') {
    return ContentService.createTextOutput("✘ Value parameter is missing");
  }

  var val = stripQuotes(e.parameter.value);
  sheet.getRange('A2').setValue(val);

  return ContentService.createTextOutput("✔ Value stored in cell A2");
}

function stripQuotes(value) {
  if (value === undefined || value === null) {
    return "";
  }
  return value.toString().replace(/^["]|["]$/g, "");
}
```

### IV.5.3 Déploiement du script en tant qu'API Web :

- 🚩 Cliquez sur **Déploiement** → **Nouveau déploiement**
- 🚩 Sélectionnez **Type : Application Web**
- 🚩 Paramètre :
  - **Exécuter en tant que** : moi
  - **Qui a accès** : tout le monde (même anonyme)
- 🚩 Cliquez sur **Déployer**, puis copiez l'URL générée.

🔗 Cette URL est celle que tu utiliseras dans le code ESP32 :

<https://script.google.com/macros/s/AKfvcbxqsPAg4iiLkA6-rNPgiTxZ7MGGrwfhWw09L34A8MVUSo7ZxbPwe3ZbHzXSKfxoLYU-k/exec>

### IV.6 Code ESP32 pour envoyer les données à Google Sheets :

```
#include <MFRC522.h>
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
```

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

```
#include <WiFiClientSecure.h>

#define RST_PIN 22
#define SS_PIN 21
#define BUZZER 15

MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
MFRC522::MIFARE_Key key;
MFRC522::StatusCode status;

int blockNum = 2;

byte bufferLen = 18;
byte readBlockData[18];

String card_holder_name;
const String sheet_url =
"https://script.google.com/macros/s/AKfycbzUwgB9j0VzWcUyJ4Rbth2nHDesIif45bD1fhmsdnbWYBGr8rMw
8wL2ZkhkY2zMbo7J/exec?name=";

#define WIFI_SSID "DESKTOP-TTMM3DT 3888"
#define WIFI_PASSWORD "9828R+u9"

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to AP");
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(200);
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected.");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.println();
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  SPI.begin();
}

void loop() {
  mfrc522.PCD_Init();
  if (!mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) { return; }
  if (!mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) { return; }
  Serial.println();
  Serial.println(F("Reading last data from RFID..."));
  ReadDataFromBlock(blockNum, readBlockData);
  //mfrc522.PICC_DumpToSerial(&(mfrc522.uid));
}
```

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

```
//Print the data read from block
Serial.println();
Serial.print(F("Last data in RFID:"));
Serial.print(blockNum);
Serial.print(F(" --> "));
for (int j = 0; j < 16; j++) {
    Serial.write(readBlockData[j]);
}
Serial.println();
digitalWrite(BUZZER, HIGH);
delay(200);
digitalWrite(BUZZER, LOW);
delay(200);
digitalWrite(BUZZER, HIGH);
delay(200);
digitalWrite(BUZZER, LOW);

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    WiFiClientSecure client;
    client.setInsecure();
    card_holder_name = sheet_url + String((char*)readBlockData);
    card_holder_name.trim();
    Serial.println(card_holder_name);
    HTTPClient https;
    Serial.print(F("[HTTPS] begin...\n"));

    if (https.begin(client, (String)card_holder_name)) {
        Serial.print(F("[HTTPS] GET...\n"));
        // start connection and send HTTP header
        int httpCode = https.GET();
        // httpCode will be negative on error
        if (httpCode > 0) {
            // HTTP header has been sent and Server response header has been handled
            Serial.printf("[HTTPS] GET... code: %d\n", httpCode);
            // file found at server
        } else {
            Serial.printf("[HTTPS] GET... failed, error: %s\n",
https.errorToString(httpCode).c_str());
        }
        https.end();
        delay(1000);
    } else {
        Serial.printf("[HTTPS] Unable to connect\n");
    }
}

void ReadDataFromBlock(int blockNum, byte readBlockData[]) {
    for (byte i = 0; i < 6; i++) {
```

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

```
    key.keyByte[i] = 0xFF;
}
status = mfrc522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A, blockNum, &key,
&(mfrc522.uid));
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
    Serial.print("Authentication failed for Read: ");
    Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
    return;
} else {
    Serial.println("Authentication success");
}
status = mfrc522.MIFARE_Read(blockNum, readBlockData, &bufferLen);
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
    Serial.print("Reading failed: ");
    Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
    return;
} else {
    Serial.println("Block was read successfully");
}
}
```

### IV.7 Procédure de définition d'une carte RFID (enregistrement d'un nom)

Afin d'identifier chaque utilisateur de manière unique, nous avons mis en place une procédure simple pour définir une carte RFID en y enregistrant un nom ou un identifiant. Le principe est le suivant : Lorsque l'on présente une carte vierge devant le lecteur RFID (RC522), le microcontrôleur lit son UID (identifiant unique) puis procède à une authentification sur un bloc mémoire précis de la carte (dans notre cas, le bloc n°2). Une fois l'authentification réussie, un nom (ou un identifiant) de 16 caractères maximum est écrit dans ce bloc.

Ce processus permet de lier une carte physique à un utilisateur spécifique, ce qui sera ensuite utilisé dans notre système pour reconnaître automatiquement chaque personne via sa carte RFID.

Cette opération de "définition" ne se fait qu'une seule fois par carte, sauf en cas de réécriture.

Exemple de données enregistrées : "Enter-Card-Name" (16 caractères maximum, sans espaces)

✚ Et voici le code

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
constexpr uint8_t RST_PIN = 22;
constexpr uint8_t SS_PIN = 21;
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
MFRC522::MIFARE_Key key;
int blockNum = 2;
```

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

```
byte blockData[16] = { "Enter-Card-Name" }; //Enter Card Holder Name in 16 character. You
can't use space here.
```

```
byte bufferLen = 18;
byte readBlockData[18];
MFRC522::StatusCode status;
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
  Serial.println("Scan a MIFARE 1K Tag to write data...");
}
```

```
void loop() {
  for (byte i = 0; i < 6; i++) {
    key.keyByte[i] = 0xFF;
  }
  if (!mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) { return; }

  if (!mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) { return; }
  Serial.print("\n");
  Serial.println("Card Detected");
  Serial.print(F("Card UID:"));
  for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++) {
    Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
    Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
  }
  Serial.print("\n");
  Serial.print(F("PICC type: "));
  MFRC522::PICC_Type piccType = mfrc522.PICC_GetType(mfrc522.uid.sak);
  Serial.println(mfrc522.PICC_GetTypeName(piccType));
  Serial.print("\n");
  Serial.println("Writing to Data Block...");
  WriteDataToBlock(blockNum, blockData);
  Serial.print("\n");
  Serial.println("Reading from Data Block...");
  ReadDataFromBlock(blockNum, readBlockData);

  Serial.print("\n");
  Serial.print("Data in Block:");
  Serial.print(blockNum);
  Serial.print(" --> ");
  for (int j = 0; j < 16; j++) {
    Serial.write(readBlockData[j]);
  }
  Serial.print("\n");
}
```

## Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation

```
void WriteDataToBlock(int blockNum, byte blockData[]) {  
  
    status = mfrc522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A, blockNum, &key,  
&(mfrc522.uid));  
    if (status != MFRC522::STATUS_OK) {  
        Serial.print("Authentication failed for Write: ");  
        Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));  
        return;  
    } else {  
        Serial.println("Authentication success");  
    }  
    status = mfrc522.MIFARE_Write(blockNum, blockData, 16);  
    if (status != MFRC522::STATUS_OK) {  
        Serial.print("Writing to Block failed: ");  
        Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));  
        return;  
    } else {  
        Serial.println("Data was written into Block successfully");  
    }  
}
```

```
void ReadDataFromBlock(int blockNum, byte readBlockData[]) {  
    status = mfrc522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A, blockNum, &key,  
&(mfrc522.uid));  
    if (status != MFRC522::STATUS_OK) {  
        Serial.print("Authentication failed for Read: ");  
        Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));  
        return;  
    } else {  
        Serial.println("Authentication success");  
    }  
    status = mfrc522.MIFARE_Read(blockNum, readBlockData, &bufferLen);  
    if (status != MFRC522::STATUS_OK) {  
        Serial.print("Reading failed: ");  
        Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));  
        return;  
    } else {  
        Serial.println("Block was read successfully");  
    }  
}
```

### IV.8 Résultat final :

À chaque fois qu'un utilisateur utilise le système (par exemple en passant une carte RFID), son nom est automatiquement :

✚ Enregistré dans la colonne A

## ***Chapitre 04 : Prototypage électronique et programmation***

- ✚ Accompagné de la date et l'heure dans les colonnes B et C
- ✚ Le tout stocké dans Google Sheets en ligne, accessible depuis n'importe où

### **IV.9 Conclusion :**

La réalisation de la maquette nous a permis de passer de la phase de conception à celle de la validation expérimentale. L'assemblage des composants mécaniques, électriques et électroniques a été effectué avec soin afin d'assurer le bon fonctionnement du système global. Grâce à l'intégration du microcontrôleur ESP32 et des capteurs, les données de production d'énergie ont pu être mesurées, traitées et enregistrées efficacement sur Google Sheets.

Les tests effectués ont démontré la faisabilité du projet et ont permis d'identifier les performances réelles du système. Ils ont également mis en évidence certains points d'amélioration possibles, notamment au niveau de la précision des mesures et de la stabilité de la connexion réseau.

Ainsi, cette étape constitue une base solide pour les développements futurs, en vue d'une optimisation du prototype et d'une éventuelle mise en œuvre à plus grande échelle dans des environnements publics ou éducatifs.

## **CHAPITRE V :**

### **ESSAIS ET DISCUSSION DES RÉSULTATS**

## Chapitre 05 : essais et discussions des résultats

### V.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir des essais réalisés sur notre vélo stationnaire producteur d'électricité verte. Ces résultats visent à démontrer la faisabilité technique du système, sa capacité de production énergétique, ainsi que son adéquation avec les besoins d'un lieu public typique. L'objectif est de confronter les données mesurées sur le terrain à la consommation réelle d'un espace public moderne et d'évaluer dans quelle mesure notre dispositif peut y répondre.

### V.2. Méthodologie de mesure

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un multimètre numérique pour surveiller la tension (V) et le courant (A) délivrés par le générateur DC lorsque le vélo est actionné. En l'absence de logiciel de simulation, les valeurs ont été collectées manuellement pendant plusieurs sessions de test, en conditions réelles.

### V.3. Hypothèses de dimensionnement

Afin de viser une production quotidienne réaliste de 15 kWh pour couvrir la totalité des besoins énergétiques d'un lieu public, les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- ✚ Puissance moyenne fournie par un utilisateur : 125 W, ce qui représente environ 125 Wh d'énergie produite s'il pédale pendant une heure à ce rythme.
- ✚ Rendement global du système (mécanique → électrique) : 80 %
- ✚ Durée moyenne de pédalage par utilisateur : 1 heure
- ✚ Nombre de vélos disponibles : 5
- ✚ Heures actives de fonctionnement : de 6h à 22h

Ces paramètres permettent de répartir la charge de production entre plusieurs utilisateurs et plusieurs vélos tout au long de la journée.

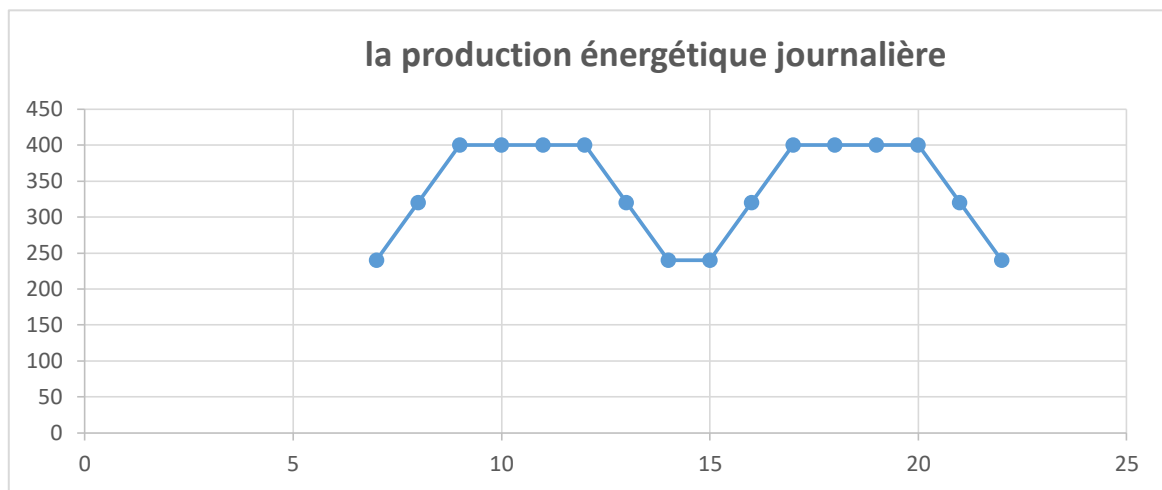
### V.4 Simulation de la production énergétique journalière

Le tableau suivant illustre la répartition horaire de la production électrique en fonction du nombre de vélos actifs par heure :

Heure	Nombre de vélos actifs	Énergie produite (Wh)
06h – 07h	3	240 Wh
07h – 08h	4	320 Wh

## *Chapitre 05 : essais et discussions des résultats*

08h – 09h	5	400 Wh
09h – 10h	5	400 Wh
10h – 11h	5	400 Wh
11h – 12h	5	400 Wh
12h – 13h	4	320 Wh
13h – 14h	3	240 Wh
14h – 15h	3	240 Wh
15h – 16h	4	320 Wh
16h – 17h	5	400 Wh
17h – 18h	5	400 Wh
18h – 19h	5	400 Wh
19h – 20h	4	320 Wh
20h – 21h	3	240 Wh
21h – 22h	3	240 Wh
<b>Total</b>	—	<b>≈ 15 000 Wh</b>



**Figure V.1 la production énergétique journalière**

### **V.5. Analyse de la production énergétique journalière :**

En ce qui concerne la production, le profil est naturellement **calqué sur la présence et l'activité des usagers**. On observe deux périodes de **forte production** : une première en **matinée entre 8h et 12h**, correspondant au passage de nombreux citoyens ou étudiants, et une seconde en **fin d'après-midi de 16h à 20h**, moment où les lieux publics connaissent un regain d'activité.

Le système repose sur **l'effort physique des utilisateurs pédalant sur les vélos générateurs**, et donc, la production varie logiquement selon **l'affluence et la motivation des participants**. En revanche, **le creux de production est constaté entre 13h et 15h**, probablement dû à la chaleur ou à la pause déjeuner, ainsi qu'**en soirée après 20h**, où l'intérêt décroît.

## **Chapitre 05 : essais et discussions des résultats**

Cette dynamique montre à quel point la **production est dépendante du comportement humain**, ce qui renforce l'importance d'un **dispositif interactif et motivant**, comme l'identification RFID ou un système de suivi énergétique personnalisé.

### **V.6 Simulation de la consommation énergétique journalière :**

Pour évaluer la pertinence de notre système, nous avons modélisé la consommation énergétique sur 24 heures d'un lieu public équipé de différents dispositifs. Le tableau ci-dessous présente les postes de consommation principaux :

Appareil	Description	Puissance (W)	Quantité	Durée d'utilisation (h)	Consommation (Wh)
Éclairage LED	Lampes utilisées pour l'éclairage nocturne et intérieur	10 W	10	12 h	1 200 Wh
Caméras de surveillance	Systèmes de sécurité fonctionnant 24h/24	15 W	4	24 h	1 440 Wh
Chargeurs de téléphones	Prises mises à disposition pour les usagers	15 W	20	1 h	300 Wh
Trottinettes électriques	Moyens de transport légers pour les déplacements courts	350 W	5	3h	5 250 Wh
Scooters électriques	Véhicules urbains pour trajets plus longs	1 500 W	2	1.5 h	4 500 Wh
Autres (Wi-Fi, capteurs, etc.)	Dispositifs de connectivité et de surveillance environnementale	50 W	1	24 h	1 200 Wh
<b>Total</b>	—	—	—	—	<b>13 890 Wh</b>

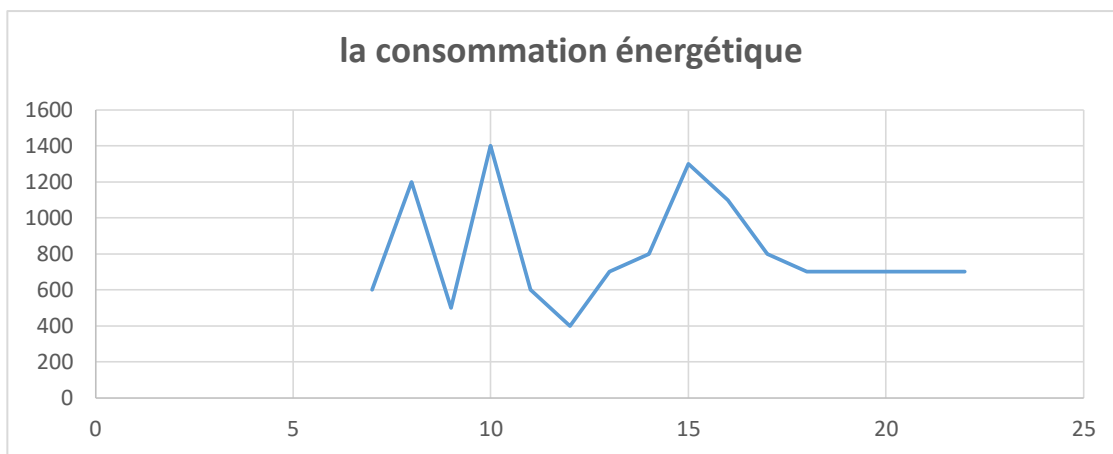
### **V.7 Programme horaire de la consommation énergétique :**

Le tableau suivant présente une estimation de la répartition de la consommation totale par heure sur une journée typique :

Heure	Activité principale	Consommation estimée (Wh)
06h – 07h	Éclairage, caméras, Wi-Fi	500
07h – 08h	Charge téléphones, caméras	600
08h – 09h	Scooters + caméras	1 200

## **Chapitre 05 : essais et discussions des résultats**

09h – 10h	Éclairage LED + Wi-Fi	500
10h – 11h	Trottinettes + caméras	1 400
11h – 12h	Charge téléphones + Wi-Fi	600
12h – 13h	Activité minimale, caméras, Wi-Fi	400
13h – 14h	Utilisation LED et capteurs	700
14h – 15h	Éclairage + caméras	800
15h – 16h	Scooters + téléphones	1 300
16h – 17h	LED, Wi-Fi, trottinettes	1 100
17h – 18h	Éclairage + caméras	800
18h – 19h	LED + Wi-Fi	700
19h – 20h	Caméras + autres capteurs	700
20h – 21h	Derniers chargements	700
21h – 22h	Éclairage + surveillance nocturne	700
<b>Total</b>	—	<b>13 640 Wh</b>



**Figure V.2: la consommation énergétique**

### **V.7 Analyse des profils de consommation énergétique journalière :**

L'analyse horaire des besoins énergétiques montre des pics de consommation bien marqués au cours de la journée. Les périodes allant de 8h à 9h, 10h à 11h, et 15h à 16h enregistrent une demande particulièrement élevée. Cela s'explique par l'utilisation simultanée de scooters et trottinettes électriques, ainsi que par les sessions de recharge de téléphones portables de la part des usagers.

En parallèle, certains équipements, tels que les caméras de surveillance, le réseau Wi-Fi et les capteurs environnementaux, fonctionnent de manière continue sur 24 heures. Leur consommation est donc relativement stable et répartie uniformément sur l'ensemble de la journée.

À l'inverse, certaines périodes creuses comme entre 12h et 13h (souvent réservée à la pause de déjeuner), ou encore tôt le matin et après 20h, affichent une consommation plus modérée. Ces moments de calme énergétique coïncident généralement avec une baisse de fréquentation du lieu public.

## Chapitre 05 : essais et discussions des résultats

### V.8. Relations physiques, électriques et mécaniques utilisées

- **Puissance mécanique fournie par le cycliste :**

$$P_{\text{Mécanique}} = C * \omega \dots\dots\dots(V.1)$$

$\omega$  : vitesse angulaire (rad/s)

C : le couple(N.m)

- **Puissance électrique produite :**

$$P_{\text{électrique}} = U * I \dots\dots\dots(V.2)$$

- **Énergie électrique produite :**

$$E = P * t \dots\dots\dots(V.3)$$

- **Rapport de multiplication mécanique** (transmission par poulies) :

$$R = \frac{D_{\text{grande}}}{D_{\text{petite}}} \dots\dots\dots(V.4)$$

Ces relations ont été mobilisées pour dimensionner le système et interpréter les résultats expérimentaux.



**Figure V.3: tests au labo**

La poulie tourne 3.7 fois plus vite que l'arbre du moteur ce qui correspond à un rapport de multiplication de vitesse de 3.7

La poulie est de 16 cm de diamètre, et l'arbre du moteur est de 4.3 cm de diamètre

Rapport de multiplication

## Chapitre 05 : essais et discussions des résultats

$$R = \frac{D_{\text{poulie}}}{D_{\text{arbre du moteur}}} = \frac{16}{4.3} = 3.7 \dots \dots \dots (V.5)$$

La poulie (3) tourne **4,6 fois plus vite** que la poulie (1), ce qui correspond à un rapport de multiplication de vitesse de **4,6**.

La grande poulie (1) reliée avec la petite poulie (2) est la petite poulie(2) reliée avec l'axe de la poulie (3), donc (2) et (3) tourne de la même vitesse.

Le diamètre de la grande poulie (1) est 20 cm, et celui de la petite poulie (2) est 4.3 cm.

Rapport de multiplication

$$R = \frac{D_{\text{poulie1}}}{D_{\text{poulie2 et 3}}} = \frac{20}{4.3} = 4.6 \dots \dots \dots (V.6)$$

Au total, il y a un rapport de multiplication de 17 entre la grande poulie et l'arbre du moteur, ce qui permet d'atteindre la puissance maximale que la génératrice peut fournir.



Figure V.4: vélo stationnaire

### Formules utilisées :

- Puissance électrique instantanée :

$$P_{\text{électrique}} = U * I$$

où :

## Chapitre 05 : essais et discussions des résultats

- **P** : est la puissance électrique en watts (W)
- **U** : est la tension générée en volts (V)
- **I** : est le courant produit en ampères (A)



Figure V.5 : essai du vélo

- **Énergie électrique produite** (pendant un certain temps  $t$ ) :

$$E = P * t = U * I * t \dots\dots\dots(V.7)$$

où :

- **E** est l'énergie en joules (J) ou en wattheures (Wh si  $t$  est en heures)
- **t** est le temps de fonctionnement en secondes ou heures

- **Conversion en Wattheures (pratique pour les bilans énergétiques) :**

$$1Wh = 3600 J$$

Lors de l'expérimentation, une tension **U=140,3 V** a été mesurée à la sortie du générateur avec un courant de **I=0,5 A**, la puissance produite serait :

$$P_{\text{électrique}} = U * I = 140.3 * 0.5 = 70.15$$

Si l'utilisateur pédale pendant 10 minutes :

$$E = 70.15 * \frac{10}{60} = 11.69Wh$$

## *Chapitre 05 : essais et discussions des résultats*

### **V.9 Analyse croisée : production vs consommation :**

Les résultats montrent que la consommation totale quotidienne estimée est de 11,39 kWh, tandis que notre système peut produire environ 15 kWh par jour. Cela permet :

- Une autonomie énergétique complète pour les usages ciblés,
- Une marge de sécurité en cas de baisse de production,
- Une éventuelle capacité de stockage pour des pics de demande ou une utilisation différée.

### **V.10 Conclusion :**

Les résultats obtenus confirment que le système de vélo stationnaire conçu dans ce projet peut non seulement fonctionner efficacement, mais aussi répondre aux besoins d'un lieu public type, tout en sensibilisant les citoyens à la production énergétique. Ce dispositif représente ainsi une solution locale, écologique et éducative à la transition énergétique urbaine. Des optimisations futures pourraient porter sur le stockage de l'énergie, l'intégration d'affichages interactifs, ou la généralisation à d'autres infrastructures publiques.

# **CONCLUSION GENERALE**

### **CONCLUSION GÉNÉRALE**

À l'issue de ce travail, nous avons démontré qu'il est possible de concevoir un système simple, fonctionnel et éducatif pour produire de l'électricité verte à partir de l'effort humain. Le projet du vélo stationnaire producteur d'énergie, initialement pensé comme une solution innovante pour les espaces publics, a progressivement pris forme à travers une démarche rigoureuse, alliant réflexion théorique, conception technique, modélisation numérique, simulation électrique et intégration électronique.

Dans un contexte mondial marqué par l'urgence climatique et la nécessité de repenser nos modes de consommation énergétique, ce mémoire s'inscrit dans une vision de l'innovation utile, accessible et durable. L'électricité verte, bien que souvent associée à de grandes infrastructures, peut aussi être pensée à une échelle humaine, participative et pédagogique. En ce sens, notre vélo stationnaire ne se limite pas à produire quelques wattheures : il devient un outil de sensibilisation, un support de formation et un symbole d'engagement citoyen.

Les différentes étapes de notre projet nous ont permis de mobiliser de nombreuses compétences en électrotechnique industrielle : sélection et dimensionnement des composants (générateur DC, régulateur PWM, batterie), conception mécanique sur SolidWorks, modélisation et simulation du comportement électrique dans Simulink et Automation Studio, programmation embarquée de la carte ESP32, et intégration d'un système de suivi individualisé via RFID et Google Sheets.

Au-delà des résultats techniques obtenus, ce projet a mis en lumière l'intérêt de croiser plusieurs domaines de l'ingénierie pour proposer une solution complète, cohérente et évolutive. Il a également souligné l'importance de la prise en compte du contexte local algérien, en intégrant les contraintes économiques, sociales et climatiques dans la conception du dispositif.

Les perspectives d'évolution sont nombreuses. À court terme, le prototype pourrait être amélioré par l'ajout d'un écran d'affichage interactif, d'un système de rétroaction visuelle ou sonore plus poussé, ou d'une application mobile dédiée. À moyen terme, une version multisite pourrait être envisagée, avec synchronisation des données de plusieurs vélos pour créer des classements, des statistiques globales ou des programmes de récompenses. À long terme, ce concept pourrait s'intégrer dans une stratégie plus large de mobilier urbain intelligent, au service de la ville durable et connectée.

En définitive, ce projet a été pour nous bien plus qu'un exercice académique. Il a représenté une expérience humaine, technique et éthique, nous rappelant que l'ingénieur d'aujourd'hui doit non seulement maîtriser des

## ***Conclusion générale***

outils et des savoir-faire, mais aussi être capable de penser des solutions au service de l'intérêt général. Produire une énergie propre, sensibiliser les citoyens, promouvoir l'effort, et partager les connaissances : voilà les objectifs que ce vélo stationnaire incarne. C'est en multipliant ce type d'initiatives que nous pourrons, collectivement, construire un avenir énergétique plus responsable.

# *Bibliographie*

## Bibliographie :

- [1] K. a. K. Benmouiza, systèmes hybrides de production d'énergie : théorie et applications, Saarbrücken, Germany: Editions Universitaires Européennes, 2021.
- [2] Agence Internationale de l'Énergie (AIE), « World Energy Outlook 2023, Paris, France: IEA, 2023,» [En ligne]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>.
- [3] G. (GIEC), Rapport de synthèse – AR6, Genève, Suisse,, 2022.
- [4] A. R. (IRENA), « World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Abu Dhabi, UAE: IRENA,» 2023. [En ligne]. Available: <https://www.irena.org/publications/2023/Mar/WETO-2023>.
- [5] L. Gaines, The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course,, Sustainable Materials and Technologies, 2–7, 2014.
- [6] C. Bishop, Public engagement in energy systems: Insights from interactive human-powered generators, Energy Policy, vol. 78, pp. 1–6, Mar. 2015..
- [7] IRENA, «Renewable Energy Market Analysis: Africa and its Regions, Abu Dhabi,» 2022. [En ligne]. Available: <https://www.irena.org>.
- [8] M. S. a. P. Janković, The role of urban furniture in public space,” International Journal of Architecture and Urban Planning, 25–30, 2021.
- [9] R. Cunha, Smart urban furniture: Technologies and applications, Conf. on Smart Cities, 2018.
- [10] P. F. a. S. L. A. Cipriano, Smart and Green Urban Furniture in Modern Public Spaces, 2021.
- [11] M. W. a. M. B. R. Wüstenhagen, Social acceptance of renewable energy innovation, 2007.
- [12] S. W. i, Design of RFID-based green energy tracking system in public installations, in Proc. 2020 Int. Conf. on Green Energy and Applications.
- [13] S. & B. Khadraoui, Systèmes hybrides de production d'énergie : théorie et applications., Editions Universitaires Européennes éd., K. (2021).
- [14] R. M. & J. Ventre., Photovoltaic Systems Engineering., CRC Press, 2010.
- [15] B. K. H. & T. Dunn, Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices, Science, 334(6058), 928-935, (2011).
- [16] V. A. S. Jain, A Single-Stage Grid Connected Inverter Topology for Solar PV Systems With Maximum Power Point Tracking. IEEE Transactions on Power Electronics, 22(5), 1928–1940., (2007)..
- [17] R. & A. H. Chedid, A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems. IEEE Transactions on Energy Conversion, 13(1), 76–83., (1998).
- [18] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals. McGraw-Hill Education., (2012).

## ***Bibliographie***

- [19] A. E. K. C. & U. S. D. Fitzgerald, *Electric Machinery*. McGraw-Hill., 2002.
- [20] B. S. & H. H. R. Guru, *Electric Machinery and Transformers*, Oxford University Press., (2001).
- [21] T. Wildi, *Machines électriques, moteurs et transformateurs*, De Boeck, (2006).
- [22] J. F. Gieras, *Advancements in Electric Machines*. Springer, (2010).
- [23] D. & R. T. B. Linden, *Handbook of Batteries.*, McGraw-Hill., (2002) .
- [24] A. J. e. a. Salkind, Batteries: Their History and Technology, *he Electrochemical Society Interface*, 11(1), 34–36, (2002).
- [25] J.-M. & A. M. Tarascon, Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries., *Nature*, 414(6861), 359–367, (2001).
- [26] B. H. J. & S. Y. K. Scrosati, Lithium-ion batteries. A look into the future, *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3287–3295., (2011).
- [27] B. & S. S. Zakeri, Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 569–596., (2015).
- [28] L. Gaines, *he future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course*, *Sustainable Materials and Technologies*, 1-2, 2–7, (2014).
- [29] C. Pillot, *The rechargeable battery market and main trends 2010–2020*, *Avicenne Energy Report*, (2013).
- [30] F. E. Terman, *Engineering and the Mind's Eye: CAD and Simulation Tools for System Design.*, McGraw-Hill, 2008..
- [31] D. P. a. M. Planchard, *Engineering Design with SOLIDWORKS 2020*, SDC Publications, 2020.

## **Business Model Canvas :**

### **1. Propositions de valeur :**

- Recharge verte d'appareils mobiles.
- Générer de l'énergie verte par l'effort physique
- Suivi personnalisé via RFID
- Enregistrement automatique sur Google Sheets
- Activité physique utile et écoresponsable
- Sensibilisation au développement durable

### **2. Clients :**

- Utilisateurs de lieux publics : étudiants, citoyens, sportifs
- Universités, écoles ou mairies souhaitant promouvoir l'énergie verte
- Événements ou démonstrations écologiques
- Organismes éducatifs ou associatifs

### **3. Canaux :**

- Installation physique dans les lieux publics
- Communication via Wi-Fi et Google Sheets
- Présentations en salons / foires écologiques
- Plateformes de sensibilisation ou d'éducation

### **4. Relation Client :**

- Système autonome : identification automatique, pas besoin d'assistance humaine
- Notification sonore par buzzer
- Données disponibles en ligne (via Google Sheets)
- Interface simple et sans écran (low cost)

### **5. Revenus :**

- Vente directe du dispositif à des collectivités locales ou écoles

## ***BMC***

- Subvention publique (projet éducatif ou écologique)
- Sponsoring d'événements éco-tech
- Location du dispositif pour événements sportifs ou pédagogiques

### **6. Activités Clés :**

- Conception et modélisation mécanique
- Développement du système électronique embarqué
- Programmation de l'ESP32 et communication Cloud
- Tests et collecte de données
- Installation dans des espaces publics

Catégories : Production, Résolution de problèmes.

### **7. Ressources clés :**

- Composants électroniques (ESP32, RFID, ACS712, relais, buzzer)
- Vélo modifié ou structure stationnaire
- Logiciel ESP32 + script Google Apps
- Connexion Wi-Fi / cloud
- Données utilisateurs (identifiants, énergie produite)

### **8. Partenaires clés :**

- Fournisseurs de générateurs, batteries, régulateurs.
- Partenaires municipaux, ONG écologiques.
- Sous-traitants pour fabrication mécanique.
- Fournisseurs de composants électroniques (ESP32, RFID, capteurs, relais)
- Partenaires municipaux ou collectivités locales

## ***BMC***

- Universités ou centres de sport (lieux d'installation)
- Fabricants de vélos ou ateliers mécaniques
- Plateformes cloud (Google, Firebase, etc.)

### **9. Coûts :**

- Achat des composants
- Maintenance ou remplacement matériel
- Temps de développement logiciel
- Coût d'hébergement cloud éventuel

Retour au



### INVESTISSEMENT

	Année 01	Total Période
vélo stationnaire	2,000,000	2,000,000
generatrice a courant continu	2,500,000	2,500,000
Contrôleur de charge PWM	150,000	150,000
carte électronique	125,000	125,000
Matériel N°05	0	0
Matériel N°06	0	0
Matériel N°07	0	0
Matériel N°08	0	0
Matériel N°09	0	0
Matériel N°10	0	0
Matériel N°11	0	0
Matériel N°12	0	0
Matériel N°13	0	0
Matériel N°14	0	0
Matériel N°15	0	0
Matériel N°16	0	0
Matériel N°17	0	0
Matériel N°18	0	0
Matériel N°19	0	0
<b>Sous-Total (01)</b>	<b>4,775,000.00</b>	<b>4775000</b>

### MASSE SALARIALE

	ETP	Total
Électricien	1.00	0
agent	2.00	0
Poste N°03	0.00	0
Poste N°04	0.00	0
Poste N°05	0.00	0
Poste N°06	0.00	0
Poste N°07	0.00	0
Poste N°08	0.00	0
Poste N°09	0.00	0
Poste N°10	0.00	0
<b>Sous-Total (2)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### CHARGES EXTERNES

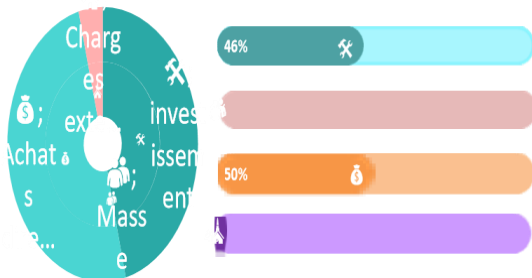
	Libellé	Total
Sous-traitance		0
Loyers		240000
Energie/eau/gaz		15000
Frais Marketing		60000
Honoraires d'avocat		0
Honoraires du Notaire		20000
Honoraires d'expert-comptable		50000
Honoraires Commissaire aux Comptes		0
Frais du transit		0
Frais télécom		20000
Divers fournitures		20000
Frais de formation		0
R&D		0
<b>Sous-Total (04)</b>	<b>425,000.00</b>	<b>425,000.00</b>

### Achat directs

	Prestation	Total
Produit/Service N°01		400,000
Produit/Service N°02		4,750,000
Produit/Service N°03		0
Produit/Service N°04		0
Produit/Service N°05		0
<b>Sous-Total (03)</b>	<b>5150000</b>	<b>5150000</b>

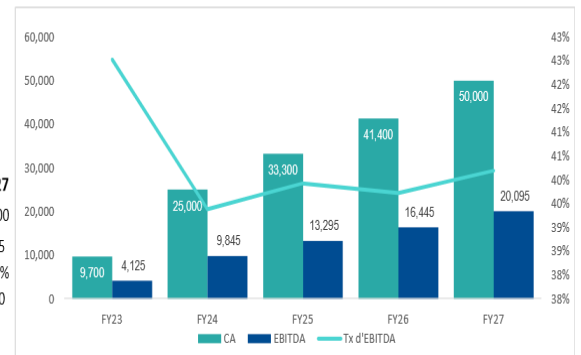
### SYNTHESE

Catégorie	Montant	
investissement	4,775,000	46%
Masse salariale	0	0%
Achats directs	5,150,000	50%
Charges externes	425,000	4%
<b>Total</b>	<b>10,350,000</b>	



#### KPI Financiers

	FY23	FY24	FY25	FY26
CA	9,700	25,000	33,300	41,400
EBITDA	4,125	9,845	13,295	16,445
Tx d'EBITDA	43%	39%	40%	40%
FCF	(1,508)	8,245	12,487	15,620



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم -  
كلية العلوم والتكنولوجيا

تصريح شرفي خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز البحث

أنا الممضي أدناه،  
الطالب (ة): بن نكاح عبد الله رقم التسجيل الجامعي: 202037030739  
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 11.2.8.01082 والصادرة بتاريخ: 2024/09/20  
عن جامعة مستغانم  
المسجل بكلية العلوم والتكنولوجيا قسم العلوم التطبيقية  
شعبة العلوم التطبيقية التخصص العلوم التطبيقية  
والمكلف بإنجاز مذكرة ماستر بعنوان:

Étude et réalisation d'un Vélo stationnaire  
Produisant de l'électricité lors de la pratique  
d'exercices dans  
des lieux publics  
أصرح بشرفي أنني التزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات العلمية والنزاهة الأكاديمية  
المطلوبة في إنجاز البحث، وأتحمل المسؤولية الشخصية عن كل المحتوى المتضمن في البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2024/06/26

إمضاء الممضي

\* ملحق القرار الوزاري رقم 933 المؤرخ في 28 جويلية 2016 الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوفائية من السرقة العلمية ومعالجتها.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم -  
كلية العلوم والتكنولوجيا

تصريح شرفي خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز البحث

أنا الممضي أدناه،

الطالب(ة): ..... السيد ..... الأسم ..... رقم التسجيل الجامعي: 199.037.037.351

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 4.0.0.15.3.9.34 والصادرة بتاريخ: 05/01/2014

عن بلد: الجزائر

المسجل بكلية العلوم والتكنولوجيا قسم الهندسة الكهربائية

شعبة الإلكترونيات والتكنولوجيا التخصص الإلكتروني

والمكلف بإنجاز مذكرة ماستر بعنوان:

Étude et réalisation d'un vélo stationnaire produisant de l'électricité  
verte lors de la pratique d'exercice dans des lieux publics.

أصرح بشرفي أنني التزم بمعايير المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات العلمية والنزاهة الأكاديمية  
المطلوبة في إنجاز البحث، وأتحمل المسؤولية الشخصية عن كل المحتوى المتضمن في البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 06/06/2015

إمضاء الممضي

\* ملحق القرار الوزاري رقم 933 المؤرخ في 28 جويلية 2016 الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومعالجتها.