

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**En : ELECTRONIQUE**

**Spécialité : INSTRUMENTATION**

**Par : SIBA Abir et TALBAOUI Ghaniya**

### **Sujet**

Conception et réalisation d'un sélecteur de motricité pour les automobiles de type Off-Road

Soutenu publiquement, le 24 / 06 / 2025 , devant le jury composé de :

|                              |     |                       |              |
|------------------------------|-----|-----------------------|--------------|
| M BOUANATI Sidi Mohammed     | MAA | Université de Tlemcen | Président    |
| Mme KADDOURI Nadera          | MCB | Université de Tlemcen | Examinatrice |
| M SLAMI Ahmed                | MCB | Université de Tlemcen | Encadreur    |
| M BRIXI NIGASSA Med El Amine | MCB | Université de Tlemcen | Co-Encadreur |

Année universitaire : 2024 / 2025

# *Remerciements*

Avant toute chose, nous remercions ALLAH le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires à la réalisation de ce travail.

Nous remercions tout d'abord sincèrement nos encadrants académiques, **M. SLAMI Ahmed** et **M. BRIXI-NIGASSA Mohammed El Amine**, pour leurs conseils avisés, leur accompagnement constant et leur grande disponibilité. Leur rigueur scientifique et leurs orientations techniques ont joué un rôle déterminant dans la réussite de ce projet.

Nos sincères remerciements vont également aux membres des laboratoires, notamment **le laboratoire d'électronique** pour les moyens techniques mis à notre disposition, **le laboratoire de recherche en Génie biomédical** pour nous avoir accordé l'accès au laboratoire et au matériel nécessaire pour la réalisation de ce mémoire, et **le laboratoire de recherche en télécommunications** qui nous ont permis d'utiliser leur imprimante 3D, indispensable à la réalisation du prototype.

Nous remercions vivement les membres de jury, **M. BOUANATI Sidi Mohammed**, maître assistant de classe A à l'université de Tlemcen, et **Mme. KADDOURI Nadera**, maître de conférences classe B à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de faire partie de notre jury et pour l'honneur qu'ils nous ont fait en étudiant avec attention notre travail.

Nous souhaitons également remercier l'ensemble des enseignants de **département de génie électrique et électronique** pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée tout au long de notre parcours universitaire. Leurs enseignements ont constitué une source précieuse de savoir et d'inspiration.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire de fin d'études.

Enfin, j'adresse un grand merci à mes collègues de promotion pour leur camaraderie, leur entraide et les échanges enrichissants partagés au fil de ces années. Leur soutien moral et leurs encouragements ont été pour nous un appui précieux.

# Dédicace

*Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour m'avoir guidée et soutenue jusqu'à ce stade de ma vie.*

*Je souhaite exprimer ma gratitude la plus sincère à **mon père bien-aimé**, qui n'a jamais ménagé ses efforts pour m'accompagner, me consacrant son temps, son énergie, sans limite. Tu as toujours été l'appui solide sur lequel je me suis reposée.*

*A **ma chère mère**, le cœur et l'âme de notre foyer, qui, malgré sa fatigue, n'a jamais hésité à sacrifier son confort et sa santé pour semer sur mon chemin la joie et l'encouragement. Tu as toujours été ce refuge chaleureux,*

*Je prie Dieu, de tout mon cœur, Je prie Dieu de te guérir, de t'accorder une longue vie en santé, et de faire de ta douleur une élévation.*

*À mes sœurs chéries, **Sana et Farah**, ainsi que mon petit frère **Mohamed Nazim**, pour leur soutien sincère, et leur confiance qui m'ont tant portée.*

*En cette occasion, Je prie pour la réussite de mon frère au BEM.*

*À également ceux qui qui représentent une partie de mon âme, mes neveux et nièce adorés, **Rahaf, Mohamed Amir et Rayen**.*

*À la familles Siba et Askour, ma cousine **Marwa et Asma**, plus que des parentes, de vraies sœurs. Je n'oublie pas **mes chères amies** pour leur affection et leur humour.*

*Et enfin, je souhaite rendre un hommage particulier à mon amie de cœur, ma partenaire dans ce travail **Ghaniya**. Notre amitié fut sans doute le plus beau cadeau que Dieu m'ait offert durant ce parcours. Notre rencontre n'était pas une simple coïncidence, mais une véritable bénédiction.*

*Siba\_Abir*

# Dédicace

*À l'issue de ce parcours, je tiens à dédier ce travail à toutes les personnes qui ont marqué ma vie et m'ont soutenue de près ou de loin.*

*Je dédie ce mémoire tout d'abord à **mon père** bien-aimé qui n'a jamais ménagé ses efforts pour m'offrir le meilleur. Aucune dédicace ne saurait traduire ce que je ressens pour toi.*

*À **ma chère mère**, dont le soutien, la patience et les sacrifices m'ont accompagnée à chaque pas. Vous avez été, et resteront toujours, mes premiers soutiens dans ce chemin.*

*À **mes frères et sœurs**, sans exception, pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements et leur présence rassurante.*

*À ma première source de joie, **Iyad**, et ma petite princesse **Ines**, qui ont donné un nouveau sens à ma vie.*

*À **mes chères amies**, qui ont rendu le parcours universitaire plus doux et plus supportable par leur présence, leurs rires et leur solidarité. Merci d'avoir partagé cette aventure avec moi.*

*Et une dédicace toute particulière à **Abir**, celle qui est devenue une sœur d'âme, une amie rare, Merci pour ta présence constante, pour ton énergie, et pour toutes ces petites choses qui font de toi une personne précieuse. Tu as donné un sens à l'amitié, un goût unique à la joie. Ce diplôme, je suis fière de le partager avec toi.*

*T. GHANIYA*

## Résumé :

Ce projet de fin d'étude porte sur la conception et la réalisation d'un système intelligent de sélection de motricité pour les véhicules tout-terrain 'off-road'. Le but principal de ce travail est d'améliorer la performance du véhicule sur des terrains complexes, en adaptant dynamiquement la gestion de fonctionnement des roues selon leur contact avec le sol. Notre système repose sur l'utilisation d'un microcontrôleur Arduino Mega, associé à des moteurs à courant continu et à des capteurs de type bouton poussoir pour détecter l'état des roues (en contact avec le sol ou non). Aussi, une application mobile, développée sur la plateforme MIT App Inventor, permet à l'utilisateur de contrôler et surveiller le système à distance de manière simple et intuitive. Après une phase de simulation, la solution a été concrétisée par la modélisation et la fabrication d'un prototype fonctionnel à l'aide de l'imprimante 3D. Les tests effectués ont validé la fiabilité du système et sa capacité à s'adapter efficacement aux exigences du terrain.

**Mots-clés :** Sélecteur de motricité, Arduino, Bluetooth, application mobile, véhicule off-road, imprimante 3D.

## المخلص:

يتعلق مشروع نهاية الدراسة هذا بتصميم وإنتاج نظام اختيار الدفع الذكي للمركبات على الطرق الوعرة. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحسين أداء المركبة على التضاريس المعقدة من خلال تكييف طريقة عمل العجلات ديناميكياً وفقاً لتلامسها مع الأرض. يعتمد نظامنا على استخدام وحدة التحكم الدقيقة Arduino Mega، بالإضافة إلى محركات التيار المستمر ومستشعرات الضغط على الأزرار للكشف عن حالة العجلات (ملامسة للأرض أم لا). كما تم تصميم تطبيق للهاتف المحمول، تم إنشاؤه على منصة MIT App Inventor، يمكن المستخدم من التحكم في النظام ومراقبته عن بُعد بطريقة بسيطة وبديهية. بعد مرحلة المحاكاة، تم وضع النظام قيد التنفيذ من خلال نمذجة وتصنيع نموذج أولي وظيفي باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد. أثبتت الاختبارات التي تم إجراؤها إمكانية الاعتماد على النظام وقدرته على التكيف بفعالية مع متطلبات المجال.

**الكلمات المفتاحية:** محدد الدفع، أروينو، بلوتوث، تطبيق الهاتف المحمول، مركبة على الطرق الوعرة، طابعة ثلاثية الأبعاد

## Abstract:

This final-year project concerns the design and implementation of an intelligent traction selection system for off-road vehicles. The main goal of this work is to improve vehicle performance on complex terrain, by dynamically adapting the management of wheel operation according to their contact with the ground. Our system is based on the use of an Arduino Mega microcontroller, combined with DC motors and push-button sensors to detect the state of the wheels (in contact with the ground or not). In addition, a mobile application, developed on the MIT App Inventor platform, enables the user to control and monitor the system remotely in a simple and intuitive way. After a simulation phase, the system was put into practice by modeling and manufacturing a functional prototype using a 3D printer. The tests carried out validated the system's reliability and its ability to adapt effectively to field requirements.

**Key words:** traction selector, Arduino, Bluetooth, mobile application, off-road vehicle, 3D printer

## Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introduction générale .....</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>I. Chapitre I :.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>Généralité sur l'automobile .....</b>                           | <b>2</b>  |
| I.1. Introduction.....   | 5         |
| I.2. Historique sur les automobiles.....                           | 5         |
| I.3. Classification des différents types des voitures .....        | 10        |
| <b><i>I.3.1. Berline</i></b> .....                                 | 10        |
| <b><i>I.3.2. Break</i></b> .....                                   | 10        |
| <b><i>I.3.3. Coupé</i></b> .....                                   | 11        |
| <b><i>I.3.4. Monospace</i></b> .....                               | 11        |
| <b><i>I.3.5. Cabriolet</i></b> .....                               | 12        |
| <b><i>I.3.6. SUV (Sport Utility Vehicle)</i></b> .....             | 12        |
| I.4. Types des terrains.....                                       | 15        |
| <b><i>I.4.1. Terrain Sablonneux</i></b> .....                      | 16        |
| <b><i>I.4.2. Terrains pierreux</i></b> .....                       | 16        |
| <b><i>I.4.3. Terrain boueux</i></b> .....                          | 17        |
| <b><i>I.4.4. Terrain enneigé</i></b> .....                         | 17        |
| I.5. Problématique .....   | 18        |
| I.6. Conclusion .....  | 18        |
| <b>Chapitre II .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Etude et simulation .....</b>                                   | <b>19</b> |
| II.1. Introduction.....  | 20        |
| II.2. Dispositif électroniques .....                               | 20        |
| <b><i>II.2.1. Arduino</i></b> .....                                | 20        |
| <b><i>II.2.2. Moteur à courant continu</i></b> .....               | 22        |
| <b><i>II.2.3. Transistor</i></b> .....                             | 22        |
| <b><i>II.2.4. LED</i></b> .....                                    | 23        |
| <b><i>II.2.5. Bouton poussoir</i></b> .....                        | 23        |
| <b><i>II.2.6. Module Bluetooth HC-05</i></b> .....                 | 24        |
| II.3. Logiciels utilisés pour la simulation et programmation ..... | 25        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II.3.1. PROTEUS</b> .....   | 25        |
| <b>II.3.2. IDE ARDUINO</b> .....                                     | 26        |
| II.4. Structure du programme Arduino .....                           | 27        |
| II.5. Etapes de simulation du circuit électronique : .....           | 28        |
| II.5. Application mobile.....  | 33        |
| <b>II.5.1. Présentation du logiciel MIT_APP_INVENTOR</b> .....       | 33        |
| <b>II.5.2. Installation de l'application</b> .....                   | 34        |
| <b>II.5.3. Création des deux modes 'manuel et automatique'</b> ..... | 35        |
| II.6. Conclusion .....   | 38        |
| <b>III. Chapitre III : .....</b>                                     | <b>39</b> |
| <b>Conception et réalisation.....</b>                                | <b>39</b> |
| III.1. Introduction.....   | 40        |
| III.2. Validation des différentes simulations.....                   | 41        |
| <b>III.2.1. Validation de circuit</b> .....                          | 41        |
| <b>III.2.2. Validation de l'application mobile</b> .....             | 41        |
| III.3. Fabrication du prototype.....                                 | 47        |
| <b>III.3.1. Conception 3D</b> .....                                  | 47        |
| <b>III.3.1.1. Présentation du logiciel Autodesk Inventor</b> .....   | 47        |
| <b>III.3.1.2. Conception des différentes pièces</b> .....            | 48        |
| <b>III.3.2. Logiciel Simplify3D</b> .....                            | 51        |
| <b>III.3.3. Impression 3D du prototype</b> .....                     | 54        |
| III.4. Assemblage et test du prototype .....                         | 58        |
| III.5. Conclusion .....  | 58        |
| <b>Conclusion générale .....</b>                                     | <b>59</b> |
| <b>Références .....</b>  | <b>60</b> |

## Table des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Voiture à vapeur (Nicolas Cugnot, 1769) [2]                                       | 5  |
| Figure 2: Premiers prototypes de voitures équipées avec des moteurs à combustion            | 6  |
| Figure 3: Premières voitures équipées avec des moteurs à essence                            | 6  |
| Figure 4 : Evolution du design des voitures Ford entre 1913 et 1970 [56] [57] [58] [59] [7] | 7  |
| Figure 5: Systèmes de sécurité mécanique  | 8  |
| Figure 6: Principe de fonctionnement du système ABS [11]                                    | 9  |
| Figure 7: Carrosserie d'une berline [16]  | 10 |
| Figure 8: Carrosserie d'un break avec volume arrière prolongé [18]                          | 11 |
| Figure 9: Design aérodynamique d'un coupé à deux portes [20]                                | 11 |
| Figure 10 : Voiture monospace [22]  | 12 |
| Figure 11: Voiture cabriolet à toit escamotable [23]  | 12 |
| Figure 12: Véhicule utilitaire sport (SUV) [25]   | 13 |
| Figure 13: véhicules tout-terrain en situation réelle [27] [28]                             | 14 |
| Figure 14 : Situation réelle sur un terrain de sable [29]                                   | 16 |
| Figure 15 : Situation réelle sur un terrain en pierres [30] [31]                            | 16 |
| Figure 16 : Situation réelle sur un terrain boueux [32] [29]                                | 17 |
| Figure 17 : Situation réelle sur un terrain enneigé [29]                                    | 17 |
| Figure 18: Types de carte ARDUINO [60] [61] [62]  | 20 |
| Figure 19:Description de la carte Arduino Mega2560 [33]                                     | 21 |
| Figure 20: Microcontrôleur ATmega2560 [33]  | 21 |
| Figure 21: Moteur à courant continu [36]  | 22 |
| Figure 22: Transistor 2N222 [37]  | 23 |
| Figure 23 : Symbole de la LED [39]  | 23 |
| Figure 24: Bouton poussoir [41]   | 23 |
| Figure 25: Module Bluetooth (HC-05) [42]  | 24 |
| Figure 26: Brochage du module Bluetooth HC-05   | 24 |
| Figure 27: Interface du logiciel ISIS [45]  | 25 |
| Figure 28: Organigramme de la structure du programme Arduino                                | 27 |
| Figure 29: Interface de logicielle ARDUINO [47]   | 28 |
| Figure 30: Montage de base d'allumage d'une LED   | 28 |
| Figure 31: Programme Arduino pour l'allumage des LEDs                                       | 29 |
| Figure 32: circuit de contrôle pour les quatre LEDs   | 29 |
| Figure 33: a) L'allumage des LEDs b) Eteindre des LEDs                                      | 30 |
| Figure 34: Programme Arduino de fonctionnement de circuit (3LEDs)                           | 30 |
| Figure 35: Moteur éteint  | 31 |
| Figure 36: Moteur en marche   | 31 |
| Figure 37: Programme Arduino pour démarrer un moteur  | 31 |
| Figure 38: Circuit complet de 4 moteurs   | 32 |
| Figure 39:Programme de commande 4 moteurs   | 32 |
| Figure 40: Interface de l'espace 'Designer' [49]  | 34 |
| Figure 41: Interface de l'espace 'Blocs' [49]   | 34 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 42: Fenêtre d'installation d'application sur smartphone [50]                                     | 35 |
| Figure 43: Simulation du contrôle des LEDs via Bluetooth  | 36 |
| Figure 44: Programme Arduino du contrôle des LEDs via Bluetooth   | 36 |
| Figure 45: Simulation du contrôle des moteurs via Bluetooth   | 37 |
| Figure 46: Programme Arduino du contrôle des moteurs via Bluetooth                                      | 37 |
| Figure 47 : Architecture globale du système   | 40 |
| Figure 48 : Circuit permettant la sélection de motricité  | 41 |
| Figure 49 : L'interface d'authentification  | 42 |
| Figure 50. Interface de sélection du mode de fonctionnement   | 43 |
| Figure 51 : Interface du mode manuel  | 44 |
| Figure 52 : Interface mode auto   | 45 |
| Figure 53. interface du logiciel Autodesk Inventor  | 47 |
| Figure 54. Modèle 3D du châssis   | 48 |
| Figure 55. Dessin technique du châssis  | 48 |
| Figure 56. Modèle 3D de la roue   | 49 |
| Figure 57. Dessin technique de la roue  | 49 |
| Figure 58. Modèle 3D du bras de force   | 50 |
| <b>Figure 59. Dessin technique du bras de force</b>   | 50 |
| Figure 60 : Interface du logiciel Simplify3D  | 51 |
| Figure 61 . Prévisualisation de la 1 <sup>ère</sup> et la 19 <sup>ème</sup> couche du modèle à imprimer | 51 |
| Figure 62. Paramétrage de l'impression 3D   | 52 |
| Figure 63 : Imprimante 3D 'CoLiDo Cubic'  | 54 |
| Figure 64. Schéma fonctionnel d'une imprimante 3D FDM [53]  | 55 |
| Figure 65. la structure d'une imprimante 3D [53]  | 56 |
| Figure 66 : Les différentes pièces à la phase d'impression  | 57 |
| Figure 67 : Prototype final   | 58 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Comparaison entre SUV et véhicule off-road .....                        | 15 |
| Tableau 2: Caractéristique de l'ATMega2560 .....                                   | 22 |
| Tableau 3 Brochage de HC-05 Bluetooth Module .....                                 | 24 |
| Tableau 4 : Principaux onglets de Simplify3D.....                                  | 52 |
| Tableau 5 : Données d'impression 3D générées par Simplify3D pour chaque pièce..... | 53 |

# **Introduction générale**

## Introduction générale

L'évolution constante des technologies automobiles ont permis des avancées remarquables dans la conception des véhicules capables de s'adapter à divers environnements, et souvent extrêmes. Dans ce contexte, les véhicules tout-terrain ou souvent appelés aussi Off-road occupent une place particulière. Grâce à leur robustesse, leur garde au sol surélevée et leur transmission intégrale (4x4), ils sont conçus pour franchir des obstacles et évoluer sur des terrains où les véhicules traditionnels ne peuvent pas s'aventurer. Qu'ils soient destinés au domaine militaire, pour particuliers ou pour le sport automobile, ce type de véhicule doit faire preuve d'une grande agilité et capacité d'adaptation. De nos jours, de plus en plus d'amateurs de sensations fortes, de passionnés d'exploration et les adeptes du tourisme en pleine nature se dirige vers ce type de véhicule.

Toutefois, malgré leurs caractéristiques destinées à des terrains accidentés, ce type de véhicule peut faire face à certaines limitations. Sur certains terrains, notamment rocheux ou irrégulier, il peut arriver qu'une ou plusieurs roues ne soient plus en contact avec le sol, ce qui entraîne une perte de motricité momentanée sur les roues en question, limitant ainsi la capacité du véhicule à franchir le terrain sur lequel il se trouve. Face à ce constat et problématique, il devient nécessaire d'intégrer des systèmes électroniques intelligents permettant de capter en temps réel l'adhérence des roues sur le sol et d'agir en conséquence pour mieux répartir la force motrice entre les roues et améliorer la capacité de franchissement des véhicules.

L'objectif de ce travail est justement de réaliser un système permettant de détecter les roues en contact avec le sol et rediriger la totalité de la puissance vers ces dernières. Pour cela, nous divisons ce projet sur trois parties principales :

- La première étant la conception 3D du véhicule (châssis, roues, bras de forces, emplacement de composants électroniques, etc...),
- La deuxième étant la partie électronique à base d'Arduino servant à détecter si les roues sont en contact avec le sol.
- La dernière partie qui est l'application Android dont le rôle est d'afficher l'état des roues à partir des informations reçues par la carte Arduino, mais aussi de contrôler la répartition de la motricité d'une manière purement manuelle.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Dans le chapitre 1, nous commencerons par présenter un bref historique de l'évolution des véhicules. Ensuite, nous citerons les différents critères permettant de différencier les principales catégories des voitures avant de se focaliser sur les véhicules off-road. Enfin nous présenterons la problématique et l'objectif de ce travail.
- Dans le chapitre 2, nous présenterons les différentes étapes de simulations et de tests pratiques par lesquels nous sommes passés avant d'arriver au prototype final. Ces dernières concernent principalement des simulations avec le logiciel Proteus, la programmation d'Arduino et la réalisation pratique de plusieurs circuits de test. Une brève présentation sur l'outil de création d'application MIT App Inventor est aussi exposée dans ce chapitre.
- Quant au dernier chapitre 3, il est réservé à la réalisation du prototype final, à commencer par la conception et impression 3D des différentes pièces constituant notre prototype comme : le châssis, les roues, l'emplacement de composants électroniques, les bras de forces, etc... Ensuite l'assemblage de ces derniers, avant de réaliser l'application mobile Android et le circuit électronique final sur lesquels nous mènerons quelques tests de validation.
- Enfin, une conclusion générale et quelques perspectives visant à améliorer ce travail seront présentées.

# **Chapitre I :**

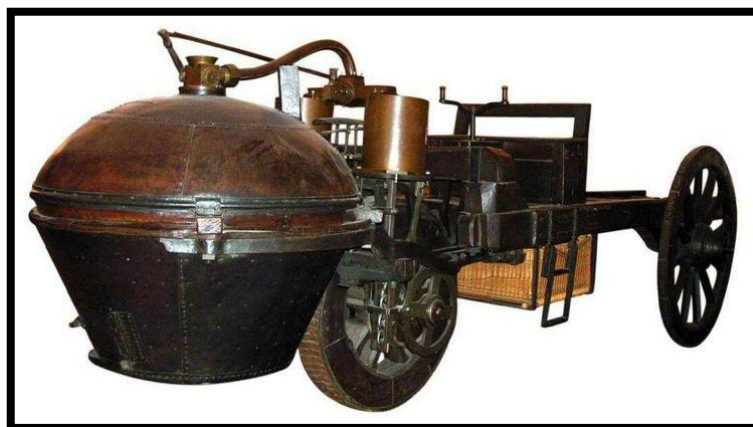
## **Généralités sur l'automobile**

### I.1. Introduction

Les automobiles, emblème de notre modernité, possèdent une histoire riche et complexe qui s'étend sur plus d'un siècle. Leur invention ne s'est pas faite en un jour, mais résulte de nombreuses contributions et évolutions de divers inventeurs (Henry Ford, Karl Benz, etc...). Au fil du temps, elles ont progressivement intégré des avancées mécanique, électrique, puis électronique, pour aboutir aux véhicules performants et intelligents que nous connaissons aujourd'hui. Dans ce chapitre, nous allons présenter un petit historique de l'évolution des voitures, avant de présenter la classification des voitures selon leurs carrosseries. Nous présenterons ensuite les types de transmissions et de terrains avant de finir avec la problématique et le contexte de ce projet de fin d'études.

### I.2. Historique de l'automobile

Les toutes premières automobiles étaient équipées de moteurs à vapeur. D'après l'institut MacNally, le premier prototype aurait été conçu en 1672 par les chinois, sous la forme d'un jouet destiné à l'empereur par Ferdinand Verbiest. Un siècle plus tard, en 1769 l'ingénieur français Nicolas Cugnot a inventé un véhicule à trois roues propulsé par un moteur à vapeur (Fig.1), principalement pour transporter du matériel militaire. Bien qu'innovant pour son époque, ce véhicule ne dépassait pas la vitesse de marche. En plus de ça, il avait plusieurs limitations notamment : une consommation excessive d'eau et une conception à trois roues qui rendait sa conduite instable. Néanmoins, c'est grâce à ces premières machines que les bases de l'industrie automobile ont été posées, ouvrant la voie à de nombreuses innovations et avancées technologiques futures [1].

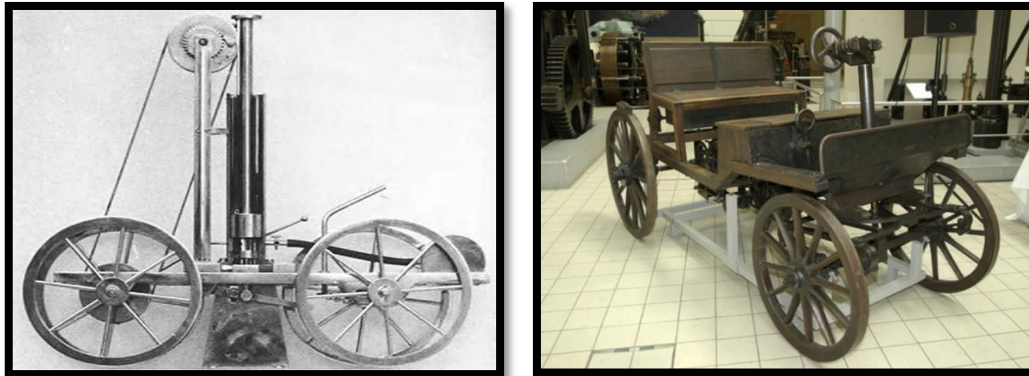


**Figure 1: Voiture à vapeur (Nicolas Cugnot, 1769) [2]**

Après les véhicules à vapeur, apparaissent les moteurs à combustion interne qui ont profondément transformé l'industrie automobile. En 1808, l'inventeur français François Isaac de Rivaz met au point l'un des premiers moteurs de ce type (Fig. 2-a).

## Chapitre 01 : Généralités sur les automobiles

Par la suite en 1870, Siegfried Marcus franchit un cap déterminant en développant un moteur à combustion interne alimenté à l'essence (Fig.2-b). Cette innovation jette les bases des motorisations modernes et ouvre la voie à une nouvelle génération de véhicules, plus performants et mieux adaptés aux besoins de mobilité croissants [1].



**Figure 2: Premiers prototypes de voitures équipées de moteurs à combustion interne**

**a) Prototype de François, b) prototype de Siegfried Marcus [3] [4]**

Entre 1885 et 1889, l'automobile connaît un tournant décisif avec l'apparition des premiers véhicules à essence véritablement fonctionnels. En 1885, l'ingénieur allemand Karl Benz conçoit le Benz Patent Motorwagen considéré comme le premier véhicule à essence (Fig.3). Ce modèle à trois roues pesait environ 100kg et développait une puissance de 0.75 cheval-vapeur [1].

En 1901, Wilhelm Maybach en collaboration avec Karl Benz mettent au point une version plus avancée à quatre roues, et dotée d'un moteur de 25 chevaux capable d'atteindre une vitesse de 85 Km/h, ce qui est impressionnant pour l'époque, illustrant l'évolution rapide des performances automobiles en à peine deux décennies.



**Figure 3: Premières voitures équipées de moteurs à essence**

**a) Benz patent Motorwagen (1885) [5]    b) Mercedes conçu par Maybach (1901) [6]**

## Chapitre 01 : Généralités sur les automobiles

La période entre 1908 et 1970 a été marquée par une révolution majeure dans l'industrie automobile, dans laquelle la société Ford a joué un rôle central sous la direction de son fondateur, Henry Ford. En 1901, Henry Ford a commencé à concevoir des voitures simples et faciles à produire. Cependant, la véritable percée est survenue en 1908 avec le lancement du modèle **Model T**, la première voiture produite en grande série et accessible au grand public. En 1913, Henry Ford a introduit le concept de la chaîne de montage (Assembly Line) dans les usines. Cette innovation a considérablement accéléré la production et réduit les coûts, rendant ainsi l'automobile accessible à une large majorité, et non plus seulement aux riches.

Ford a ensuite poursuivi le développement de techniques de production toujours plus efficaces, tout en améliorant les performances et le confort des véhicules. La société fut également parmi les premières à accorder une grande importance à la sécurité des conducteurs et à concevoir des voitures adaptées aux longues distances.

Progressivement, les automobiles se sont largement répandues aux États-Unis et en Europe, devenant un élément essentiel de la vie quotidienne et transformant l'urbanisme, l'économie, ainsi que les modes de vie [7].

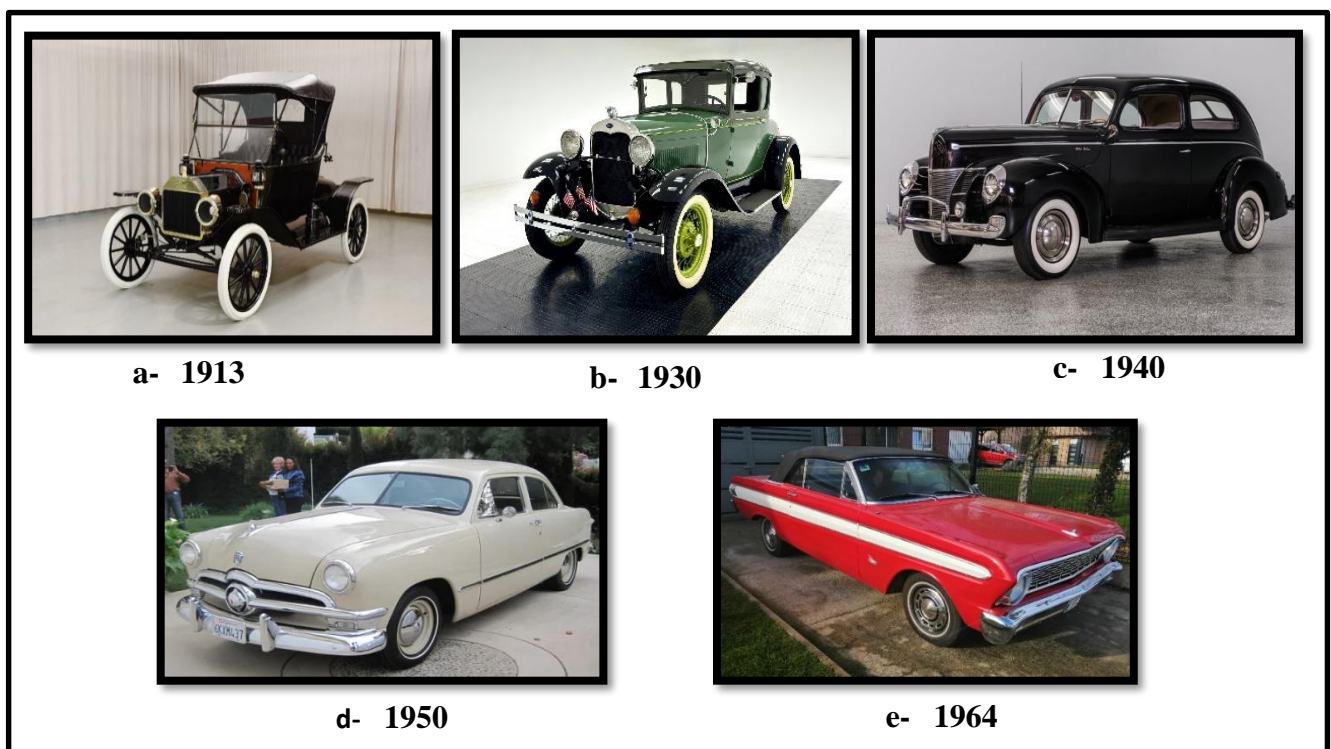
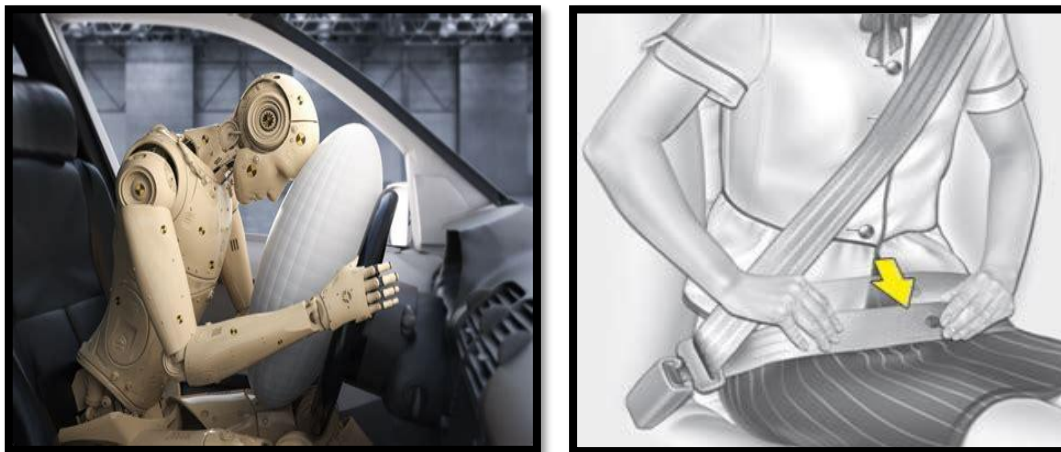


Figure 4 : Evolution du design des voitures Ford entre 1913 et 1970 [56] [57] [58] [59] [7]

## Chapitre 01 : Généralités sur les automobiles

En plus des avancées mécaniques, le début des années 1970 marque le commencement de l'intégration de plusieurs innovations techniques destinées à améliorer la sécurité des conducteurs et des passagers. Ainsi, les constructeurs commencent à équiper les véhicules de systèmes intelligents d'assistance à la conduite, améliorant ainsi la sécurité et la stabilité du véhicule. Cette période marque le début d'une transformation majeure, d'abord par les dispositifs mécaniques et passifs, puis progressivement par les systèmes électroniques embarqués à partir des années 1980 [1].

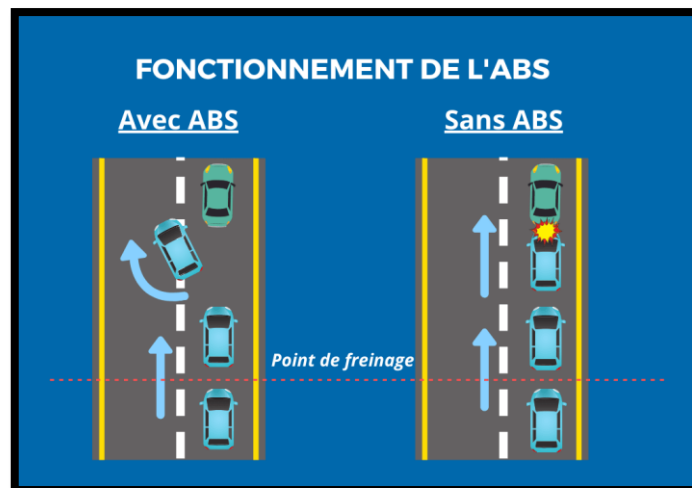
Parmi les avancées notables, on retrouve les éléments de sécurité à base d'un fonctionnement mécanique passif comme la ceinture de sécurité à trois points inventée par Nils Bohlin (Fig.5-b). Elle est d'ailleurs rendue obligatoire dans les véhicules à partir de 1973 aux places avant, puis aux places arrière en 1990. Elle est rapidement secondée par l'apparition de l'airbag en 1979 (Fig.5-a) un coussin gonflable conçu pour limiter les impacts frontaux et latéraux, entre autres avec le tableau de bord du véhicule [8].



**Figure 5: Systèmes de sécurité mécanique**

**a) Système d'airbag en cas de choc    b) Ceinture de sécurité [9] [10]**

En plus des technologies de sécurité passive, on commence à voir l'apparition de systèmes de sécurité actifs comme la mise en place du premier système d'antiblocage des roues ABS (Anti Bloc System) en 1978 [8]. Ce système en apparence basique mais aussi révolutionnaire à son époque, car il empêche le blocage des roues lors de freinages brusques ce qui donne la possibilité au conducteur de toujours contrôler le guidage de la voiture (Fig.6). Ce dispositif devenu obligatoire sur tous les véhicules neufs à partir de 2004.



**Figure 6: Principe de fonctionnement du système ABS [11]**

Nous citons aussi d'autres technologies actives devenues indispensables aujourd'hui comme :

- Correcteur électronique de trajectoire (ESP), dont la première commercialisation a été réalisée par Mercedes-Benz en 1995, et son intégration dans les véhicules neufs est obligatoire depuis 2014. Ce système agit automatiquement sur le freinage de certaines roues afin d'éviter une perte de contrôle, notamment dans les virages serrés ou en cas de perte d'adhérence. Il permet au véhicule de rester stable en freinant individuellement les roues nécessaires, plutôt que de freiner uniformément l'ensemble du véhicule [8].
- Aide au freinage d'urgence (AFU) ce système permet un freinage plus efficace en cas de passage anormalement rapide de la pédale d'accélérateur à la pédale de frein.
- Le répartiteur électronique de freinage (REF) permettant de répartir le freinage de façon égale sur chaque roue du véhicule.
- Le système de surveillance de la pression des pneus (TPMS) qui indique automatiquement au conducteur un manque de pression dans les pneus, ceux-ci devront alors être regonflés.

Outre ces dispositifs de sécurité, les véhicules modernes intègrent de plus en plus de technologies d'assistance à la conduite et de confort, telles que le régulateur de vitesse adaptatif, le système de stationnement automatique, les caméras à 360°, la reconnaissance des panneaux, ou encore l'affichage tête haute, qui améliorent à la fois l'expérience de conduite et la sécurité sur la route.

Sur le plan technologique, les véhicules modernes deviennent de véritables plateformes intelligentes, combinant multimédia connecté, GPS, intégration smartphone et mises à jour à distance. En parallèle, les motorisations hybrides ou électriques, avec des systèmes comme le Start & Stop ou la récupération d'énergie, visent à réduire la consommation et les émissions [12].

Cette évolution continue, témoigne d'un tournant vers une mobilité plus intelligente, plus propre et plus sûre, où le véhicule devient une plateforme technologique connectée, au service du conducteur et de son confort.

### I.3. Classification des différents types de voitures

Les voitures peuvent être réparties en différentes catégories, que ce soit pour des raisons réglementaires ou descriptives, tels que le poids, la taille, le type d'usage, la forme de la carrosserie, le type de carburant, la motorisation, le type de transmission, l'autonomie, etc ...

Dans ce qui suit, nous allons citer quelques exemples en se focalisant sur la forme de carrosserie qui constitue l'un des critères les plus répandus pour différencier les voitures.

#### I.3.1. *Berline*

Une berline est un type de voiture à quatre portes, conçue pour offrir un meilleur confort et plus d'espace intérieur. Ce qui distingue principalement la berline d'une citadine, c'est sa plus grande taille ainsi que son orientation vers des trajets plus longs, avec un confort accru pour les passagers [14] [15].



**Figure 7: Carrosserie d'une berline [16]**

#### I.3.2. *Break*

Le break ressemble beaucoup à une berline, tout en se différenciant par une longueur plus importante et un coffre arrière plus grand. Cet espace supplémentaire améliore le confort et offre une meilleure habitabilité, ce qui en fait un modèle particulièrement adapté aux besoins des familles. C'est pourquoi il est souvent surnommé voiture familiale à grand coffre. La plupart des modèles peuvent transporter jusqu'à cinq passagers. Certaines versions, notamment en Europe, offrent jusqu'à sept places, ce qui leur confère une grande polyvalence d'usage.



**Figure 8: Carrosserie d'un break avec volume arrière prolongé [18]**

### ***1.3.3. Coupé***

C'est une voiture de sport avec un style distingué, qui dispose généralement de deux portes et d'un toit rigide incliné. Son design est fluide et plus bas que celui d'une berline, offrant une allure aérodynamique et dynamique. Ce type de voiture est souvent basé sur une version berline du même constructeur mais avec une carrosserie plus courte et un habitacle plus compact notamment à l'arrière où l'espace est souvent limité. Ce type de voiture s'adresse surtout aux jeunes conducteurs attirés par le style, ainsi qu'aux passionnés de conduite et de performances [19].



**Figure 9: Design aérodynamique d'un coupé à deux portes [20]**

### ***1.3.4. Monospace***

Le monospace est un véhicule familial ou véhicule polyvalent MPV (MultiPurpose Vehicle), est un type de voiture pensé surtout pour les familles. Elle a été conçue à l'origine avec une seule forme qui regroupe le moteur, l'habitacle et le coffre ce qui permet d'avoir plus d'espace à l'intérieur. Ce type de véhicule met l'accent sur le confort, l'espace et la capacité de transporter plusieurs personnes avec leurs bagages [14] [21].



**Figure 10 : Voiture monospace [22]**

### ***1.3.5. Cabriolet***

Le cabriolet est un type de voiture qui possède un toit rétractable qui peut être soit souple soit rigide escamotable. Il a un pare-brise fixe et des portes sans cadre. Ce type de véhicule peut être dérivé d'une berline ou d'un coupé. On peut regrouper plusieurs types de carrosseries sous le nom de cabriolet, parmi lesquels on trouve : Roadster, Coupé Cabriolet, Tourer [23].



**Figure 11: Voiture cabriolet à toit escamotable [23]**

### ***1.3.6. SUV (Sport Utility Vehicle)***

Les voitures utilitaires sport ou SUV, sont des voitures solides avec une bonne hauteur comme un tout-terrain mais elles restent confortables et faciles à conduire comme les voitures classiques. Elles viennent à l'origine des véhicules militaires au début du XXe siècle. Depuis, elles ont évolué pour plaire aux conducteurs en ville comme à la campagne.

## Chapitre 01 : Généralités sur les automobiles

---

A partir des années 1980, elles sont devenues très populaires au large public qui a été séduit par ce type de véhicule grâce à leur grand espace intérieur, leur capacité de transport et leurs différentes tailles. Aujourd'hui, le SUV est un choix offrant un compromis idéal entre confort, sécurité et polyvalence. Il convient tant aux familles qu'aux amateurs d'aventures. Modernes, fiables et toujours améliorés, ils sont devenus très importants sur le marché des voitures dans le monde entier [24].



**Figure 12: Véhicule utilitaire sport (SUV) [25]**

Au-delà de leurs formes, tailles, motorisations et usages, les voitures se distinguent aussi par leur mode de transmission, c'est-à-dire la manière dont la puissance du moteur est transmise aux roues. Ce choix technique a un impact direct sur la motricité, la consommation de carburant, la tenue de route, et les performances du véhicule. On distingue principalement trois types de transmission :

- La traction ou propulsion (Two Wheel Drive) : Dans ce cas, le véhicule est entraîné soit par les deux roues avant (Traction), soit par les deux roues arrière (Propulsion).
- La transmission intégrale (4WD - Four Wheel Drive) : Ce système est souvent utilisé dans les SUV les plus solides, conçu pour le tout-terrain. Il peut être activé manuellement pour envoyer de la puissance aux quatre roues en même temps. C'est très utile sur un terrain particulièrement exigeant.
- La transmission intégrale permanente (AWD – All Wheel Drive) : Ce système fonctionne tout le temps contrairement au système 4WD. Il répartit automatiquement la puissance entre les roues selon les besoins. Ce type de système est très pratique pour rouler en sécurité sur la route et pour un usage tout-terrain léger [24].

Ce qui nous intéresse dans notre travail, c'est l'étude de la motricité des véhicules off-road (tout terrain). En général, lorsqu'on parle de véhicule off-road, on parle de transmission 4WD ou AWD. Dans tous les cas, la traction ou la propulsion ne conviennent clairement pas aux véhicules tout terrain.

## Chapitre 01 : Généralités sur les automobiles

---

- **Comparaison entre les SUV et les véhicules off-road :**

Une des principales qualités des SUV c'est qu'ils peuvent être équipés de systèmes à quatre roues motrices (4WD) ou à transmission intégrale (AWD), Ces systèmes permettent au véhicule d'avoir une meilleure adhérence et un meilleur contrôle surtout dans des conditions difficiles comme la neige, la boue ou les terrains rocailleux.

Les véhicules tout-terrain sont quant à eux faits pour rouler sur des chemins difficiles, où les voitures classiques ne peuvent pas passer. Grâce à leur hauteur, leur suspension robuste et leur système de suspension, leurs 4 roues motrices, ils peuvent grimper, avancer dans la boue, le sable, la neige. Ce sont des véhicules solides et résistants conçus pour résister aux rigueurs et conditions parfois extrêmes de la nature. Ces véhicules sont utilisés à divers fins aussi bien pour les loisirs comme les balades dans la nature ou dans le désert que pour des usages plus sérieux tels que l'agriculture, les secours ou les missions militaires. Pour beaucoup de personnes ces véhicules représentent l'aventure, la liberté et la possibilité d'explorer des endroits difficiles d'accès [26].



**Figure 13: véhicules tout-terrain en situation réelle [27] [28]**

## Chapitre 01 : Généralités sur les automobiles

Les principales différences entre ces deux types de véhicules sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 1: Comparaison entre SUV et véhicule off-road**

|                               | <b>SUV classique</b>                                | <b>Véhicule Off-Road</b>   |
|-------------------------------|---|--|
| <b>Utilisation principale</b> | Polyvalent, adapté à la route au tout-terrain léger | Conduite en terrain difficiles (boue, sable, rochers.)                           |
| <b>Transmission</b>           | 2 roues motrices ou transmission intégrale (AWD)    | Transmission intégrale permanent (4WD)   |
| <b>Suspension</b>             | Suspension confortable, adaptée à la route          | Suspension renforcée, grande articulation pour les terrains accidentés           |
| <b>Châssis</b>                | Monocorps (comme les voitures)                      | Châssis séparé (carrosserie montée sur un châssis robuste)                       |
| <b>Garde au sol</b>           | Modérée, adaptée aux routes goudronnées             | Élevée, permettant de franchir des obstacles tels que rochers et ornières        |
| <b>Usage Principal</b>        | Urbain, familial, loisirs modérés                   | Activités tout-terrain, exploration, professionnels nécessitant de la robustesse |
| <b>Confort</b>                | Confort élevé sur route at moins adapté hors-piste  | Confortable sur route mais très permanent  |
| <b>Exemples de modèles</b>    | Peugeot 3008, Nissan Qashqai, Hyundai Tucson        | Jeep Wrangler, Toyota Land Cruiser, Land Rover Defender                          |

### I.4. Types des terrains

Les véhicules off-road sont spécifiques par leur capacité de sillonner une grande variété de terrains, allant du sable à la boue, en passant par les rochers ou le gravier. Cependant, cette variété de terrains peut engendrer différentes contraintes, comme un manque d'adhérence, des obstacles imprévus ou une instabilité du sol. Ces conditions influencent directement le comportement du véhicule et peuvent compromettre sa progression ou endommager ses composants s'il n'est pas suffisamment adapté. D'où l'importance de citer et étudier les types de terrain qu'ils vont affronter pour but de comprendre et d'anticiper les défis rencontrés afin de garantir une conduite efficace et sécurisée.

### *1.4.1. Terrain Sablonneux*

Le sable, qu'il soit du désert ou des plages, constitue un terrain meuble et exigeant pour les véhicules. Les roues s'enfoncent rapidement si la pression des pneus n'est pas correctement ajustée, ce qui nécessite parfois de les dégonfler légèrement pour augmenter la surface de contact afin d'améliorer la traction. Il est également crucial de maintenir une vitesse stable pour éviter de s'immobiliser.



**Figure 14 : Situation réelle sur un terrain de sable [29]**

### *1.4.2. Terrains pierreux*

Les terrains rocheux sont parmi les plus difficiles à franchir en tout-terrain. Ici, les véhicules off-road nécessitent des suspensions plus solides, une garde au sol plus grande, et souvent des protections sous le châssis pour éviter les dommages. Les conducteurs utilisent généralement une vitesse très basse pour contrôler chaque mouvement des roues (technique connue sous le nom de rock crawling).



**Figure 15 : Situation réelle sur un terrain en pierres [30] [31]**

### *1.4.3. Terrain boueux*

La boue se forme principalement sur des sols saturés d'eau, souvent à la suite de fortes pluies ou dans des zones naturellement humides. Ce type de terrain peut varier entre couche de boue superficielle (perte d'adhérence) à une boue profonde ce qui fait que les roues s'enfoncent facilement (ensablement). Pour bien circuler sur la boue, il est essentiel d'équiper les véhicules off-road avec des pneus tout-terrain dotés de crampons profonds et il est également recommandé de maintenir une vitesse régulière et d'éviter les arrêts soudains.



**Figure 16 : Situation réelle sur un terrain boueux [32] [29]**

### *1.4.4. Terrain enneigé*

La neige est un terrain difficile à prévoir. Elle peut être parfois légère et facile à traverser, mais aussi glissante, voire verglacée, rendant la conduite risquée et dangereuse. Les véhicules off-road doivent être équipés de pneus adaptés à la neige ou de chaînes, et de conduire en douceur, sans accélération ni freinage brusques pour éviter de perdre le contrôle et de rouler en toute sécurité.



**Figure 17 : Situation réelle sur un terrain enneigé [29]**

### I.5. Problématique

Quand on parle de conduite hors route, on parle de plusieurs défis à relever. C'est là que les véhicules tout-terrain (VTT) entrent en jeu car ils sont spécialement conçus pour cela ! Avec leur suspension bien pensée, leurs pneus adaptés et leur transmission intégrale, ils assurent une bonne traction et une stabilité sur des terrains difficiles comme le sable, les rochers, la boue, la neige ou encore sur des pentes raides.

Cependant, malgré leurs nombreux avantages, ces véhicules ne sont pas exempts de limitations techniques d'où l'intérêt de notre travail qui se focalise sur les voitures off-road traversant un terrain pierreux. Un problème majeur réside dans la distribution de puissance aux roues qui ne sont pas en contact avec le sol. Dans des situations spécifiques, telles que la conduite sur des surfaces rocheuses inégales ou en position inclinée, certaines roues peuvent se retrouver suspendues ce qui se traduit par une perte d'adhérence avec le sol tout en entraînant un gaspillage significatif de l'énergie cinétique. En effet, le couple doit être redirigé vers des roues motrices qui sont en contact avec le sol, ce qui améliore et assure l'avancement de la voiture.

Pour cela, nous avons commencé à réfléchir pour trouver des solutions intelligentes pour améliorer les performances des véhicules. L'idée est de diriger la puissance vers les roues qui sont effectivement en contact avec le sol. C'est justement ce qui porte l'intitulé de notre projet de fin d'étude 'Système de Sélection de Motricité' qui vise à gérer électroniquement la répartition du couple selon les besoins de chaque roue.

Dès lors, comment concevoir un système capable de détecter une roue ayant perdue son adhérence et d'améliorer la répartition de la puissance motrice d'un véhicule tout-terrain lorsque certaines roues perdent l'adhérence sur des terrains rocheux ?

### I.6. Conclusion

Ce premier chapitre a permis de tracer l'évolution des véhicules depuis leur invention, tout en représentant leur classification ainsi que les différents types de terrains où ils peuvent rouler. En mettant particulièrement l'accent sur les véhicules tout-terrain (Off-road), nous avons également souligné leur importance et sa caractéristique ainsi que les difficultés qu'ils peuvent rencontrer notamment la perte de motricité en conditions extrêmes. Cette problématique technique liée à la perte d'adhérence lorsque certaines roues perdent le contact avec le sol, constitue le point de départ de notre projet. Ainsi, ce chapitre introductif nous a permis de poser le cadre général et de justifier l'intérêt d'une solution électronique adaptée qui sera développée dans les chapitres suivants.

# **Chapitre II**

## **Etude et simulation**

### II.1. Introduction

Dans le prolongement du chapitre précédent, ce deuxième chapitre commence par la présentation des composants matériels utilisés. Ensuite nous avons procédé à une simulation progressive tout en détaillant les étapes de fonctionnement du système. Cette étape nous a permis d'identifier d'éventuelles erreurs et de les corriger afin d'optimiser la performance globale du système. Ce chapitre introduit également une application mobile assurant l'interaction entre l'utilisateur et le dispositif électronique.

### II.2. Dispositif électroniques

#### II.2.1. Arduino

Arduino est une plateforme open source qui repose sur une carte électronique programmable équipée d'un microcontrôleur. Elle permet de produire et traiter des signaux électriques, ainsi qu'un environnement de développement intégré (IDE) facilitant la programmation et la mise en œuvre des circuits électroniques. Arduino est utilisé dans divers domaines tels que l'électrotechnique industrielle, les systèmes embarqués, et on peut l'utiliser aussi pour réaliser de nombreuses applications comme la conduite des robots, la commande des moteurs, la création des scénarios lumineux automatisés, ou encore dans l'interaction avec un ordinateur ou la manipulation d'appareils mobiles [33].

##### II.2.1.1. Types de cartes Arduino

Ce qui suit présente les principaux types de cartes Arduino les plus couramment utilisés dans les projets électroniques.

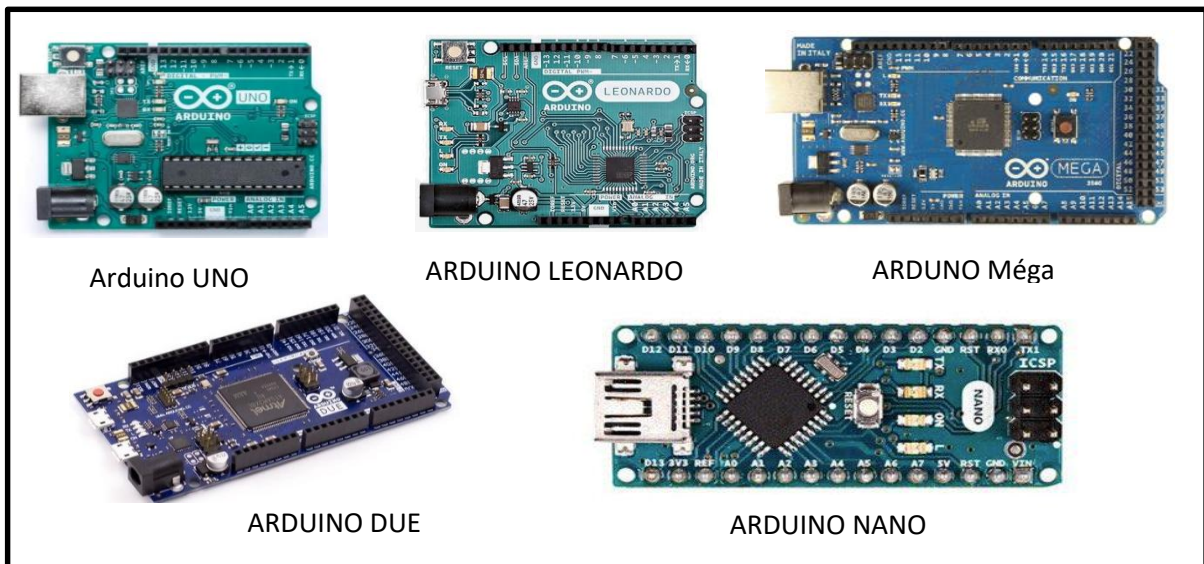


Figure 18: Types de carte ARDUINO [60] [61] [62]

## Chapitre02 : Etude et simulation

Chaque carte Arduino a sa propre dimension, sa taille de mémoire, son intensité du courant...etc. Dans notre circuit nous utilisons la carte Arduino Méga2560.

### II.2.1.2. La carte Arduino Mega2560

La carte Arduino Méga est équipée d'un microcontrôleur de type ATmega2560. Elle comporte 54 broches numériques d'entrée/sortie capables de servir comme sorties PWM, ainsi que 16 entrées analogiques. Elle intègre également 4 ports série matériels (UART), un oscillateur à quartz de 16 MHz, une interface USB, une prise d'alimentation, un connecteur ICSP, un bouton reset. Conçue pour être autonome, cette carte peut être alimentée directement via un câble USB relié à un ordinateur ou à l'aide d'un adaptateur secteur ou d'une batterie [34].

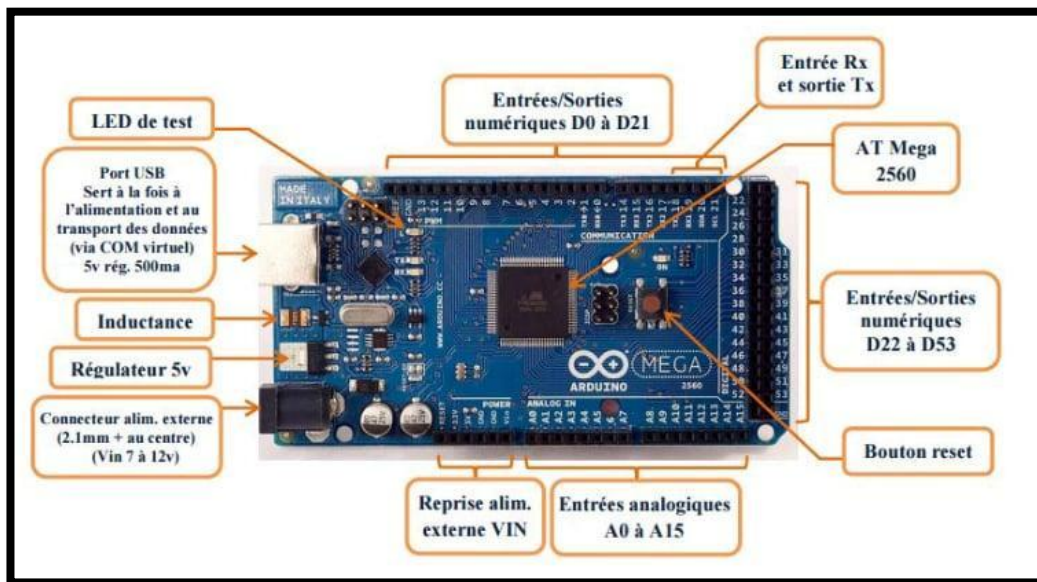


Figure 19:Description de la carte Arduino Mega2560 [33]

Le microcontrôleur **ATmega2560**, est le cerveau de la carte Arduino. Ce circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit. Le processeur de la carte est celui qui prend en charge les calculs, l'exécution des instructions du programme et la gestion des ports d'entrée/sortie [33].



Figure 20: Microcontrôleur ATmega2560 [33]

## Chapitre02 : Etude et simulation

Les principales caractéristiques techniques de l'ATmega sont résumées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2: Caractéristique de l'ATMega2560**

|   |        |
|---|--------|
| Tension de fonctionnement                     | 5 V    |
| Tension d'alimentation recommandée            | 7-12 V |
| Tension d'alimentation limite                 | 6-20 V |
| Broches E/S numériques                        | 54     |
| Broches d'entrées analogique                  | 16     |
| Intensité max disponible par broche E0/S (5V) | 40 mA  |
| Intensité max disponible par broche E/S (3V)  | 50 mA  |
| Mémoire programme flash                       | 256 KB |
| Mémoire SRAM                                  | 8 KB   |
| Mémoire EEPROM                                | 4 KB   |
| Vitesse d'horloge                             | 16 MHZ |

### II.2.2. Moteur à courant continu

Un moteur à courant continu est un convertisseur électromécanique permettant de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation ; mais il a aussi la capacité de fonctionner comme générateur d'électricité en transformant une énergie mécanique de rotation en énergie électrique [35].



**Figure 21: Moteur à courant continu [36]**

### II.2.3. Transistor

Un transistor est un élément électronique essentiel, souvent utilisé en tant qu'amplificateur ou comme commutateur contrôlé. Construit à partir de matériaux semi-conducteurs, il permet de contrôler le passage du courant électrique dans un circuit. Il possède trois électrodes : Emetteur, base et collecteur.

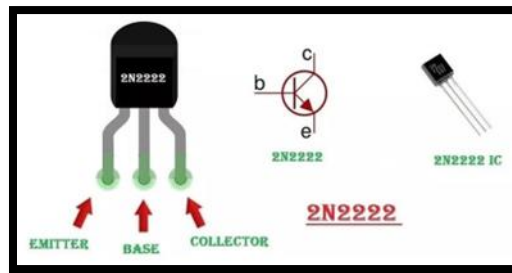


Figure 22: Transistor 2N2222 [37]

### Caractéristiques du transistor 2N2222

- Type de transistor : NPN (transistor à jonction bipolaire)
- Courant maximal au collecteur ( $I_C$ ) : 800 mA
- Tension maximale entre le collecteur et l'émetteur ( $V_{CE}$ ) : 30 V
- Tension maximale entre le collecteur et la base ( $V_{CB}$ ) : 60 V
- Tension maximale entre et la base l'émetteur ( $V_{BE}$ ) : 5 V [38]

### II.2.4. LED

Une LED (Light Emitting Diode) est une diode électroluminescente qui émet de la lumière lorsqu'elle est parcourue par un courant continu dans le sens passant. La LED émet de la lumière dans le domaine visible avec une longueur d'onde entre 400nm et 700nm [39].



Figure 23 : Symbole de la LED [39]

### II.2.5. Bouton poussoir

Un bouton poussoir est un composant électromécanique utilisé couramment dans les montages électroniques. Il est constitué de 4 broches et d'une lamelle métallique qui met en contact deux à deux les broches opposées lorsqu'il est pressé, Ce qui génère une connexion électrique temporaire [40].



Figure 24: Bouton poussoir [41]

### II.2.6. Module Bluetooth HC-05

Le module Bluetooth HC-05 est un dispositif de communication sans fil entre un microcontrôleur (comme un Arduino) et un autre périphérique Bluetooth (smartphone, PC, etc.). Il permet d'envoyer et de recevoir des données de manière bidirectionnelle, facilitant la commande des appareils à distance.

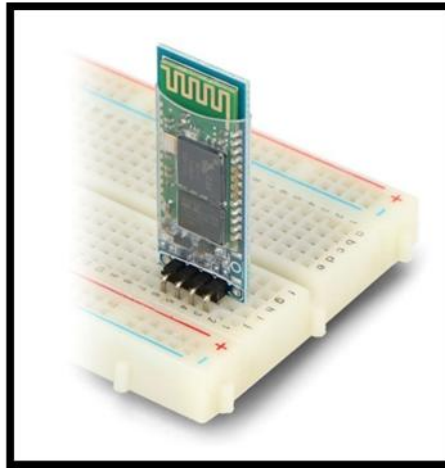


Figure 25: Module Bluetooth (HC-05) [42]

Tableau 3 Brochage de HC-05 Bluetooth Module

| Branche | Description   |
|---------|---|
| VCC     | Alimentation 5V (ou 3,3V selon le module).                                |
| GND     | Masse (GND).  |
| TXD     | Transmet les données au microcontrôleur (connecté à RX sur l'Arduino).    |
| RXD     | Reçoit les données du microcontrôleur (connecté à TX sur l'Arduino).      |
| EN      | Pin d'activation (optionnel, souvent laissé non connecter ou mis à HIGH). |

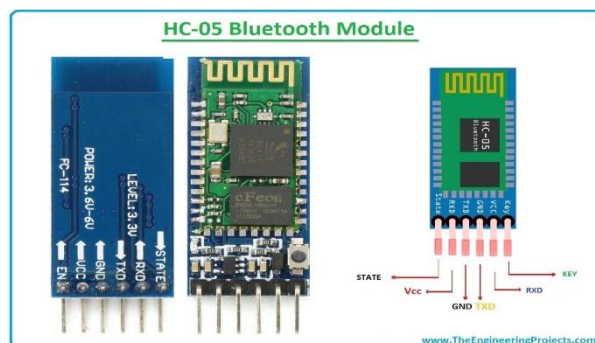


Figure 26: Brochage du module Bluetooth HC-05

La communication entre le HC-05 et l'Arduino se fait via le **port série (UART)**. Les données envoyées depuis un téléphone via une application (comme MIT App Inventor) sont reçues par l'Arduino et interprétées pour piloter des composants (moteurs, LEDs, etc.) [43].

### II.3. Logiciels utilisés pour la simulation et programmation

Nous allons à présent présenter les différents outils informatiques que nous avons utilisés pour la simulation de notre circuit électronique.

#### II.3.1. PROTEUS

Le logiciel Proteus est une suite logicielle de conception assistée par ordinateur éditée par Labcenter Electronics. Il permet entre autres l'édition, la simulation des circuits électroniques via l'outil « ISIS » et la conception de circuits imprimés via l'outil « ARES ».

ISIS offre une grande variété de composants électroniques tels que les résistances, les condensateurs, les transistors, les microcontrôleurs, les afficheurs, etc. On peut également sélectionner et intégrer le nombre de composants qu'on veut dans notre schéma afin de fournir un environnement de simulation. Ensuite, on peut faire des mesures et observer les différents signaux ainsi que l'identification d'éventuelles erreurs avant de passer à la réalisation pratique du montage [44].

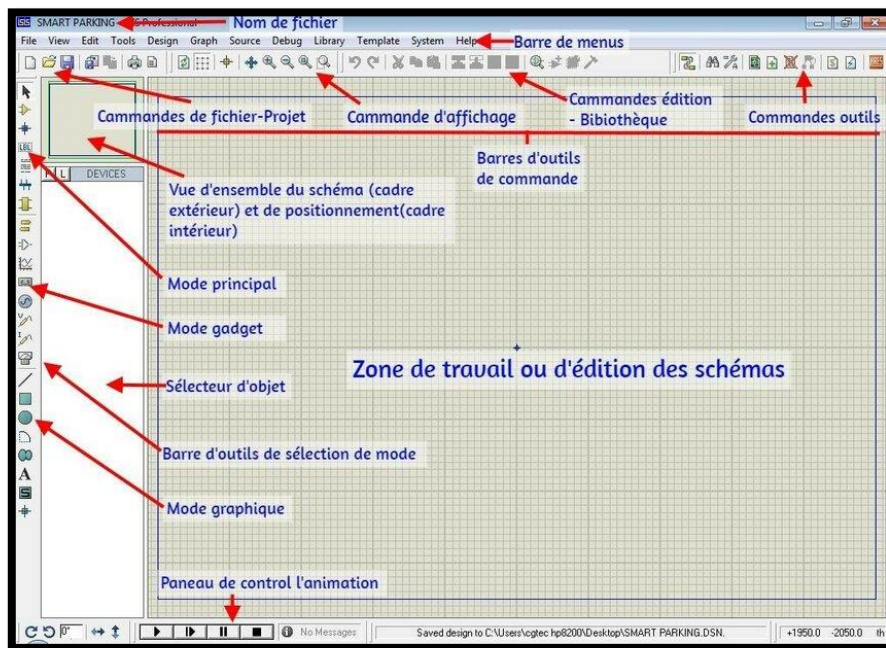
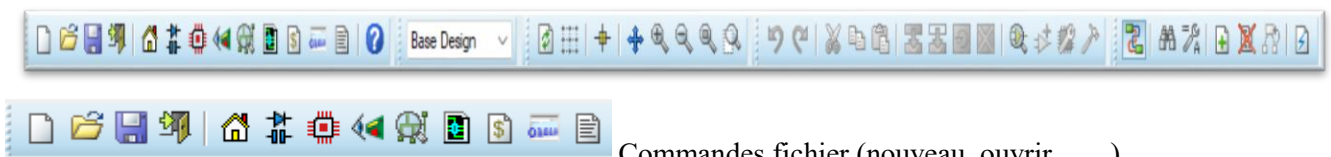


Figure 27: Interface du logiciel ISIS [45]

- Barre de menus : Elle permet de gérer les travaux (ouverture, sauvegarde ..... ) sur vos fichiers.



- Barre des outils de commande : Elle reprend qui est accessible par les menus.



## Chapitre02 : Etude et simulation

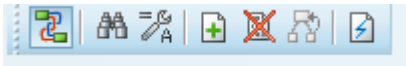
---



Commandes d'affichage (grille, zoom.....)



Commande / Edition /Object /Bibliothèque



Commandes Outils /Project .....

- Barre d'outils de sélection des modes : Cette barre de sélectionner un outil parmi les d'édition disponible

- ✓ Modes principaux



- ✓ Modes gadget



- ✓ Mode graphique



- Barre d'outils d'orientation : Elle permet d'afficher et de contrôler la rotation d'un objet placé à placer



Dans notre projet, une carte Arduino est utilisée, ce qui nous oblige à utiliser l'IDE Arduino.

### II.3.2. IDE ARDUINO

L'IDE (Integrated Development Environment) est un logiciel de développement Open-Source conçu pour faciliter la programmation des cartes Arduino ainsi que des microcontrôleurs compatibles. Il intègre dans une seule interface simple et conviviale tous les outils nécessaires à la programmation d'une carte Arduino. Cette simplicité en fait un choix privilégié aussi bien pour les débutants que pour les utilisateurs avancés.

Les principales fonctionnalités regroupées au sein de cet outil sont :

- **Editeur de texte** : Il permet de saisir le code source du programme, écrit généralement en langage Arduino/C++.
- **Compilateur** : Il transforme le code source en langage machine compréhensible par le microcontrôleur.
- **Gestionnaire de cartes** : Cet outil gère les pilotes nécessaires à la communication entre l'IDE et les différentes cartes Arduino ou compatibles.
- **Gestionnaire de bibliothèques** : Il permet d'installer et de gérer les bibliothèques utiles pour utiliser divers composants (écrans, capteurs, modules de communication, etc.), tout en suivant leurs versions.
- **Fonction de téléversement** : Elle permet d'envoyer le programme compilé vers la mémoire du microcontrôleur via le port USB.
- **Moniteur série** : Il offre un affichage en temps réel des données échangées entre la carte et l'ordinateur, ce qui est très utile pour le débogage ou le suivi de l'exécution du programme [46].

### II.4. Structure du programme Arduino

Pour programmer dans l'IDE Arduino, on utilise une structure standard comprenant trois parties principales :

- **Déclaration des variables** : Placée avant `setup()`, cette section définit les broches (ex : `const int LED = 13;`), les variables globales (ex : `int compteur = 0;`) et les objets nécessaires. Les constantes (`const`) y sont privilégiées pour les valeurs fixes.
- **Fonction `setup()`** : Exécutée une fois au démarrage, elle initialise les broches (via `pinMode()`), configure la communication série (`Serial.begin(9600)`), et prépare-les capteurs/actionneurs.
- **Fonction `loop()`** : Boucle infinie contenant la logique du programme (lectures de capteurs, calculs, commandes de sortie comme `digitalWrite()`). Elle s'exécute séquentiellement jusqu'à la coupure de l'alimentation [47].

L'organigramme ci-dessous illustre la structure du programme Arduino.

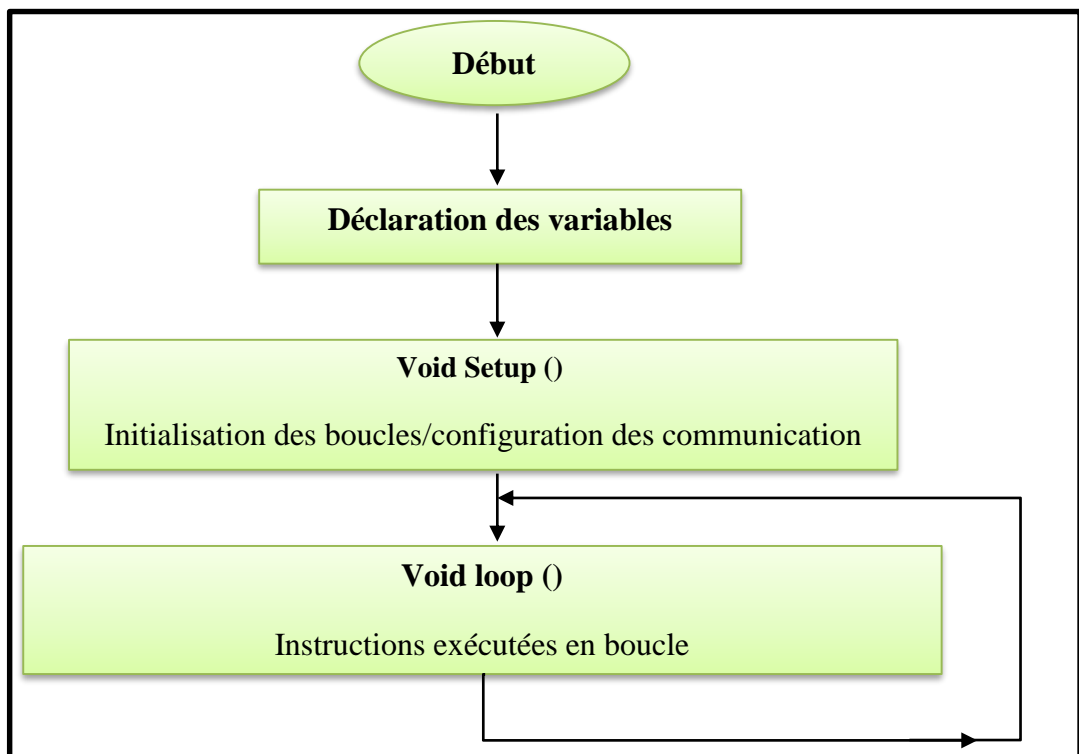


Figure 28: Organigramme de la structure du programme Arduino

Une fois le code écrit, il doit être téléversé sur la carte Arduino en suivant ces étapes :

- Connecter la carte Arduino au PC via un câble USB.
- Sélectionner le bon port COM correspondant à la carte dans l'IDE.
- Cliquer sur le bouton "Upload" pour envoyer le programme vers la carte.
- Observer les LED TX et RX clignoter lors du téléversement [47].

## Chapitre02 : Etude et simulation

Les programmes écrits dans l'Arduino IDE sont appelés sketches et sont enregistrés avec l'extension « .ino ».

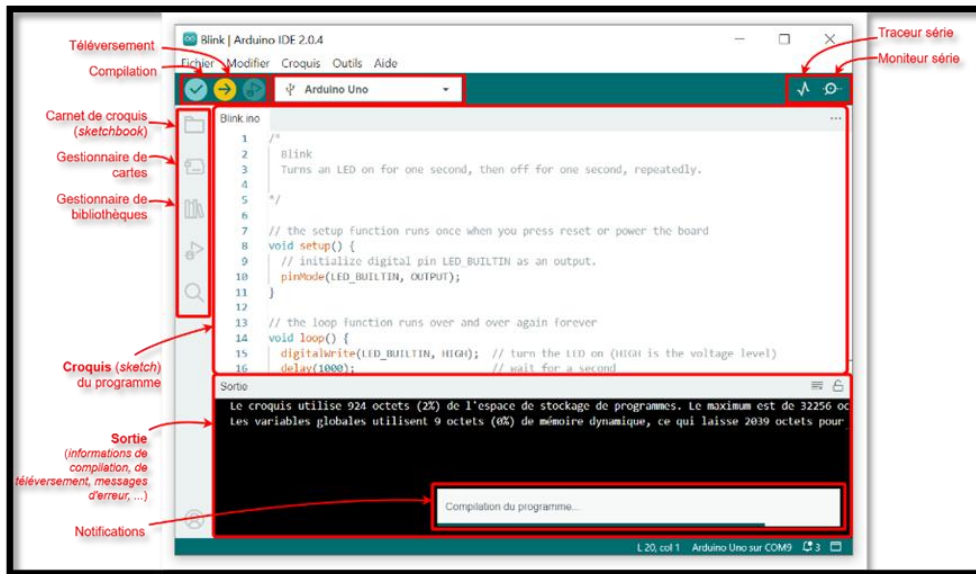


Figure 29: Interface de logicielle ARDUINO [47]

### II.5. Etapes de simulation du circuit électronique :

Avant de simuler et tester notre circuit final pour la réalisation de notre prototype, nous avons commencés par quelques étapes préalables, réalisant des simulations simples au début, et en rajoutant ou modifiant à chaque fois des composants après validation du bon fonctionnement de la simulation.

- **Première étape : Contrôle des LEDs en utilisant Arduino**

Pour commencer, nous avons effectué une première simulation basique visant l'allumage d'une LED via un bouton poussoir (Fig.30). Cette manipulation nous a permis de comprendre comment affecter les entrées et les sorties dans la carte Arduino.

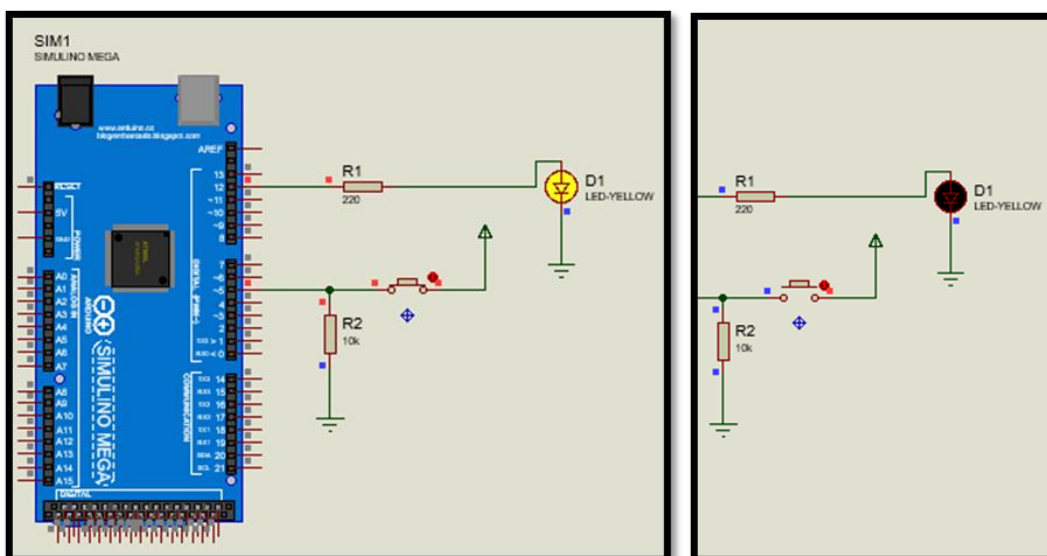


Figure 30: Montage de base d'allumage d'une LED

## Chapitre02 : Etude et simulation

Dans ce circuit, la LED est branchée au pin n°12 de l'Arduino (défini comme une sortie numérique) où nous avons rajoutés, en série, une résistance de protection de 220  $\Omega$ . Le bouton poussoir est branché au pin n°05 (défini comme une entrée numérique) que nous avons aussi relié à une résistance (pull-down) de 10 k $\Omega$  ; tandis que la deuxième extrémité du bouton poussoir est reliée au pin fournissant une tension de 5V.

Pour ce montage, le bouton poussoir agit comme un interrupteur : lorsqu'on appuie dessus, il ferme le circuit permettant ainsi au courant électrique de passer vers la LED à travers l'Arduino. Ce dernier détecte l'appui et, conformément au programme Arduino (Fig. 31), active la sortie correspondante, ce qui allume la LED.

```
const int LED1 = 12;
const int button1 = 5;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode (LED1, OUTPUT);
  pinMode (button1, INPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(LED1, digitalRead(button1) == HIGH ? HIGH : LOW);
}
```

Figure 31: Programme Arduino pour l'allumage des LEDs

Après avoir confirmé le bon fonctionnement du montage de base, il ne reste qu'à étendre le montage en utilisant quatre LEDs, chacune réagissant à un bouton poussoir propre qui lui est propre (Fig.32). Cette étape est essentielle pour nous préparer à des commandes plus complexes, comme nous le verrons dans la suite de ce mémoire.

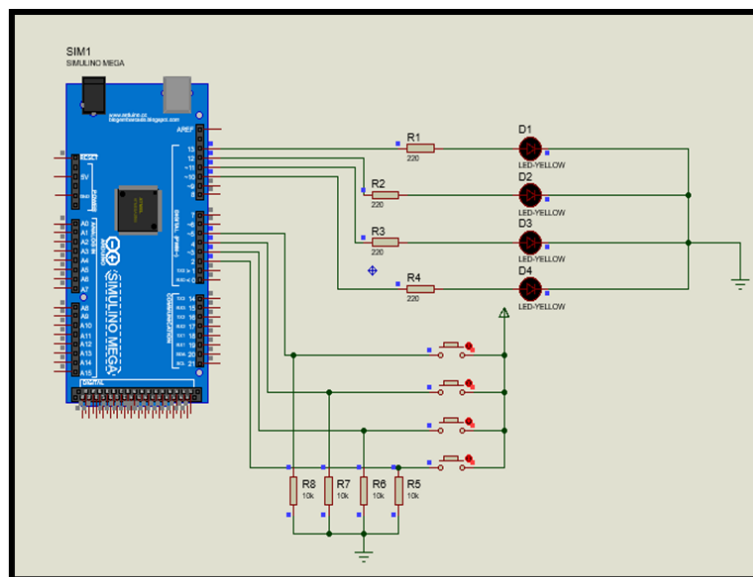


Figure 32: circuit de contrôle pour les quatre LEDs

## Chapitre02 : Etude et simulation

Lorsqu'un bouton est pressé, l'Arduino détecte un **niveau logique haut (5V)** et **donne l'ordre pour allumer la LED correspondante (Fig. 37-a)**. Lorsqu'on relâche le bouton, l'Arduino détecte un **niveau logique bas (0V)** et donne l'ordre pour **éteindre la LED (Fig.37-b)**

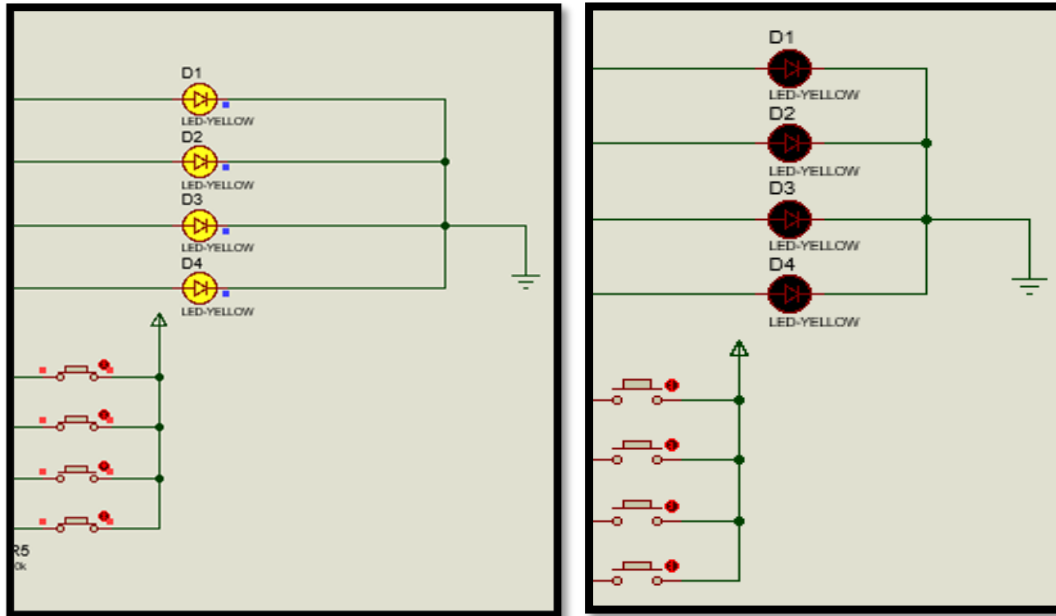


Figure 33: a) L'allumage des LEDs b) Eteindre des LEDs

Le circuit fonctionne en boucle continue grâce au programme Arduino présent dans la figure suivante, permettant une interaction en temps réel avec l'utilisateur.

```
File Edit Sketch Tools Help
Arduino Mega or Mega 2560
etap01.ino
1 int LED1 = 10;
2 int LED2 = 11;
3 int LED3 = 12;
4 int LED4 = 13;
5 int BP1 = 2;
6 int BP2 = 3;
7 int BP3 = 4;
8 int BP4 = 5;
9 void setup() {
10 // put your setup code here, to run once:
11 pinMode (10, OUTPUT);
12 pinMode (11, OUTPUT);
13 pinMode (12, OUTPUT);
14 pinMode (13, OUTPUT);
15 pinMode (2, INPUT);
16 pinMode (3, INPUT);
17 pinMode (4, INPUT);
18 pinMode (5, INPUT);
19 }
20

File Edit Sketch Tools Help
Arduino Mega or Mega 2560
etap01.ino
20
21 void loop() {
22 // put your main code here, to run repeatedly:
23 if (digitalRead(2) == HIGH) {
24 | digitalWrite(10, HIGH);
25 } else {
26 | digitalWrite(10, LOW);
27 }
28
29 if (digitalRead(3) == HIGH) {
30 | digitalWrite(11, HIGH);
31 } else {
32 | digitalWrite(11, LOW);
33 }
34
35 if (digitalRead(4) == HIGH) {
36 | digitalWrite(12, HIGH);
37 } else {
38 | digitalWrite(12, LOW);
39 }
40
41 if (digitalRead(5) == HIGH) {
42 | digitalWrite(13, HIGH);
43 } else {
44 | digitalWrite(13, LOW);
45 }
46
47 }
```

Figure 34: Programme Arduino de fonctionnement de circuit (3LEDs)

## Chapitre02 : Etude et simulation

- **Deuxième étape : Intégration et contrôle des moteurs via Arduino**

Dans la continuité des précédentes simulations, nous allons remplacer la LED de la figure 32 par un moteur à courant continu afin de simuler une charge plus réaliste. En conservant le même principe de commande par bouton poussoir, nous allons activer (Fig. 35) ou désactiver (Fig.36). un moteur grâce à la carte Arduino.

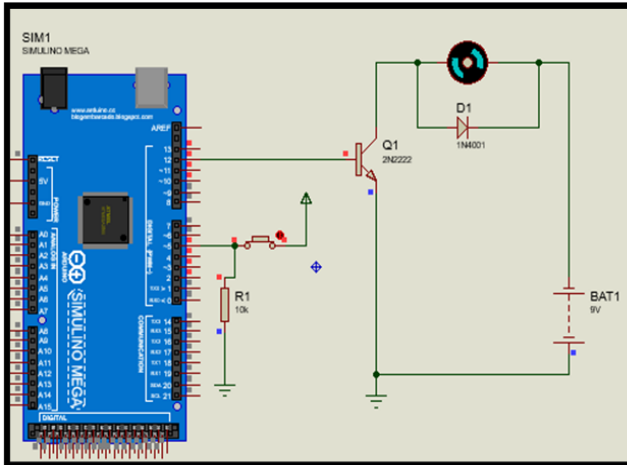


Figure 35: Moteur éteint

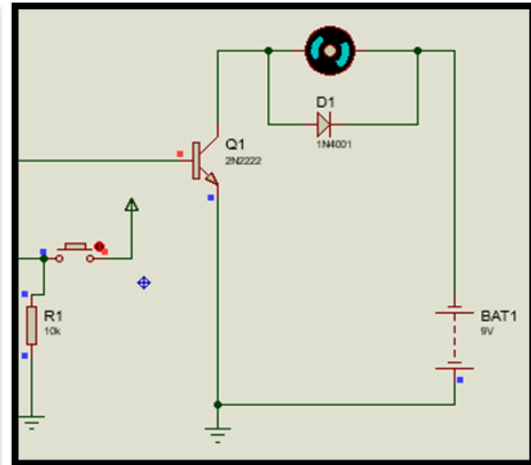


Figure 36: Moteur en marche

Au départ, nous avons tenté de commander le moteur DC directement depuis une sortie de l'Arduino, mais cela s'est avéré insuffisant en termes de puissance électrique, car les sorties de l'Arduino ne délivrent pas assez de courant pour alimenter un moteur. Pour cette raison, nous avons opté pour l'ajout d'une source de courant électrique (batterie ou pile) branchée avec un transistor qui agit dans notre cas comme un interrupteur électronique. La base de notre transistor (2N2222) est branchée vers le pin n°12 afin de recevoir un signal électrique. Une fois que le bouton poussoir est appuyé, la carte Arduino laisse le courant électrique passer ce qui met le transistor en mode interrupteur fermé. En effet, notre moteur qui est branché entre l'alimentation et le collecteur du transistor (Fig. 36) commence à tourner. Une diode (1N4001) est placée en parallèle avec le moteur (cathode au +V, anode au collecteur) pour protéger le transistor des surtensions générées par l'inductance du moteur lors de son arrêt.

```
const int motor1 = 12;
const int button1 = 5;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode (motor1, OUTPUT);
  pinMode (button1, INPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(motor1, digitalRead(button1) == HIGH ? HIGH : LOW);
}
```

Figure 37: Programme Arduino pour démarrer un moteur

## Chapitre02 : Etude et simulation

Après avoir validé la simulation du circuit électronique contenant un seul moteur avec la carte Arduino, nous sommes passés à la réalisation d'un montage complet intégrant quatre moteurs (Fig.38). Pour mener à bien cette étape qui marque une étape cruciale pour la suite de notre projet, nous avons connecté chaque moteur à son pin associé dans la carte Arduino pour pouvoir les piloter individuellement. Ensuite, nous avons ajouté une protection assurée par une diode 1N4001, afin de prévenir tout retour de courant. Cette configuration nous a permis de simuler et de tester efficacement le contrôle simultané de plusieurs moteurs dans un système plus poussé, tout en conservant une architecture claire, fiable et évolutive.

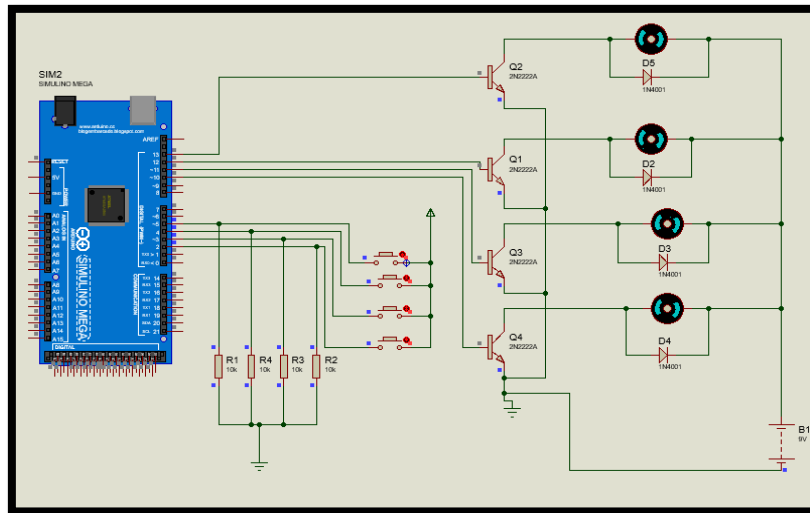


Figure 38: Circuit complet de 4 moteurs

```
const int motor1 = 10;
const int motor2 = 11;
const int motor3 = 12;
const int motor4 = 13;
const int button1 = 2;
const int button2 = 3;
const int button3 = 4;
const int button4 = 5;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(motor1, OUTPUT);
  pinMode(motor2, OUTPUT);
  pinMode(motor3, OUTPUT);
  pinMode(motor4, OUTPUT);

  pinMode(button1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(button2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(button3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(button4, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(motor1, digitalRead(button1) == HIGH ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(motor2, digitalRead(button2) == HIGH ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(motor3, digitalRead(button3) == HIGH ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(motor4, digitalRead(button4) == HIGH ? HIGH : LOW);
}
```

Figure 39: Programme de commande 4 moteurs

Après avoir validé le bon fonctionnement de notre circuit avec 4 moteurs et avant de passer à la réalisation pratique, nous avons eu l'idée d'intégrer à notre projet une commande sans fil pour notre système via Bluetooth tout en utilisant une application mobile. Nous allons dans ce qui suit présenter l'outil utilisé pour la création de l'application ainsi que sa structure de base.

### II.5. Application mobile

L'idée derrière l'intégration d'une application mobile à notre système de sélection de motricité pour les véhicules Off-road nous est venue en se posant la question suivante : Et si le sélecteur de motricité connaissait une défaillance ? En effet, nous avons pensé à créer une application mobile permettant un contrôle manuel du système tout en se basant sur l'aspect visuel concernant l'état des roues (suspendues ou non). Ensuite, nous avons eu l'idée de surveiller notre système, via la même application, afin de savoir à quel moment nous devons agir de manière totalement manuelle.

Dans ce qui suit, nous allons commencer par introduire le software permettant la création de notre application mobile. Ensuite, nous présentons les deux programmes permettant le contrôle manuel ainsi que la surveillance du bon fonctionnement de notre sélecteur de motricité.

#### II.5.1. Présentation du logiciel MIT\_APP\_INVENTOR

App Inventor est une plateforme de programmation en ligne gratuite permettant de créer facilement des applications mobiles pour les smartphones et les tablettes. A l'origine, c'était une application web fournie par Google et actuellement maintenue par le MIT (Massachusetts Institute of Technologie)

Nous pouvons distinguer deux sections principales dans MIT App Inventor : Une section de conception (Designer) et une section de programmation (Blocs) [48] .

- **L'espace 'Designer' :** Cet espace (Fig. 40) nous permet de concevoir l'aspect visuel de l'application Android en termes d'apparence et d'organisation des différents éléments de l'écran (boutons, zones de texte, images, ...) [49].

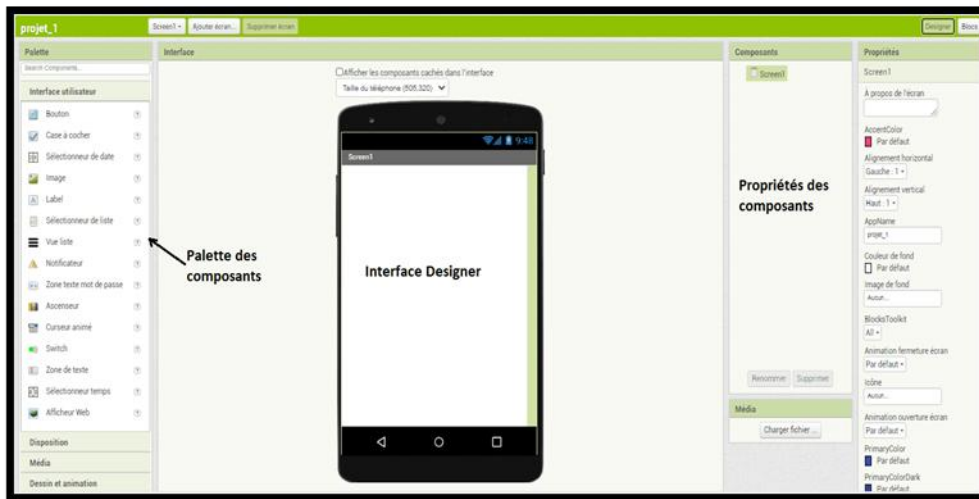


Figure 40: Interface de l'espace 'Designer' [49]

- **L'espace 'Blocs' :** Cet espace (Fig.41) permet la programmation du fonctionnement des différents éléments rajoutés dans la partie 'Designer' de l'application. Selon les composants insérés dans l'interface, l'utilisateur peut accéder à divers blocs opérationnels lui permettant de manipuler des textes, des variables, des opérations logiques ou mathématiques, ainsi que la gestion du comportement des objets affichés sur l'écran [49].

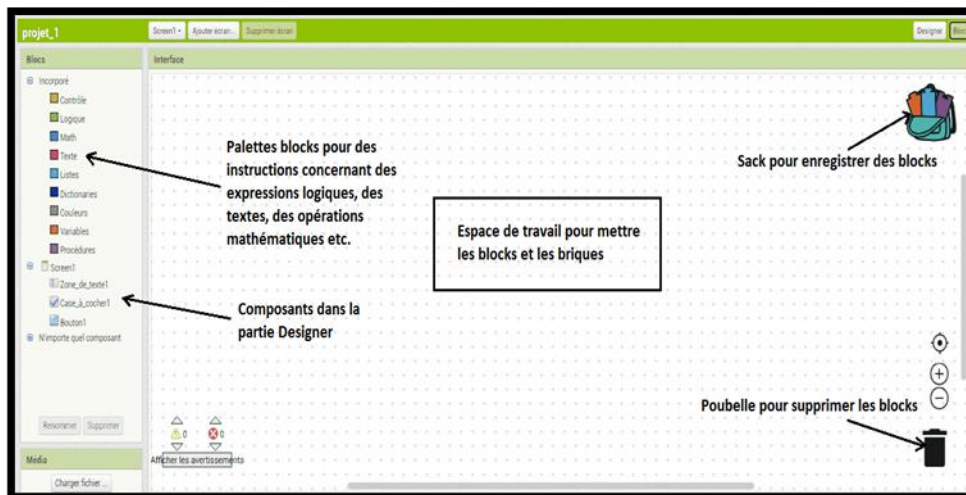


Figure 41: Interface de l'espace 'Blocs' [49]

### II.5.2. Installation de l'application

Une fois la création de l'application terminée, nous pouvons la sauvegarder, tester et installer sur notre smartphone. Ce test peut se faire de trois manières différentes : AI Companion, émulateur ou bien par un câble USB. La plus répandue reste l'utilisation de AI Companion. Néanmoins, cet outil

## Chapitre02 : Etude et simulation

nécessite l'installation préalable de l'application Android « **MIT AI2 Companion** » disponible dans le Google PlayStore.

Ensuite, un QR code (Fig. 42) est généré via la plateforme de programmation sur l'écran de l'ordinateur. Enfin, pour pouvoir installer l'application sur notre mobile, il suffit de lancer l'application **MIT AI2 Companion**, et cliquer sur le bouton « **Scan QR code** » pour scanner le code affiché dans la fenêtre.

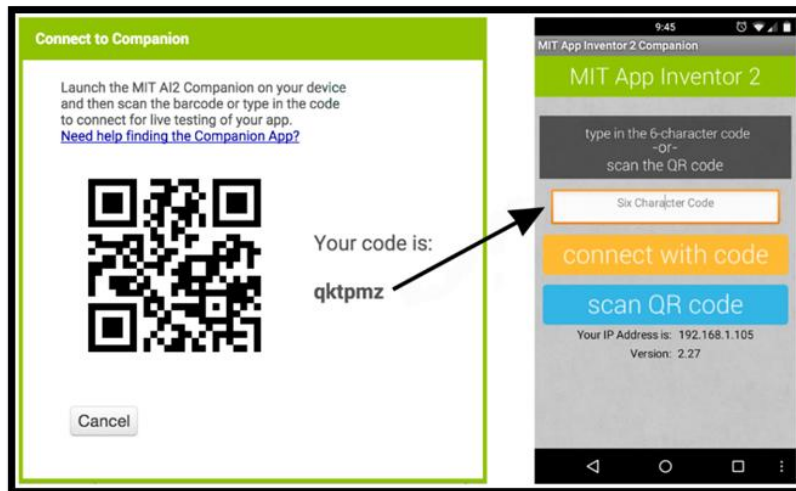


Figure 42: Fenêtre d'installation d'application sur smartphone [50]

### II.5.3. Création des deux modes 'manuel et automatique'

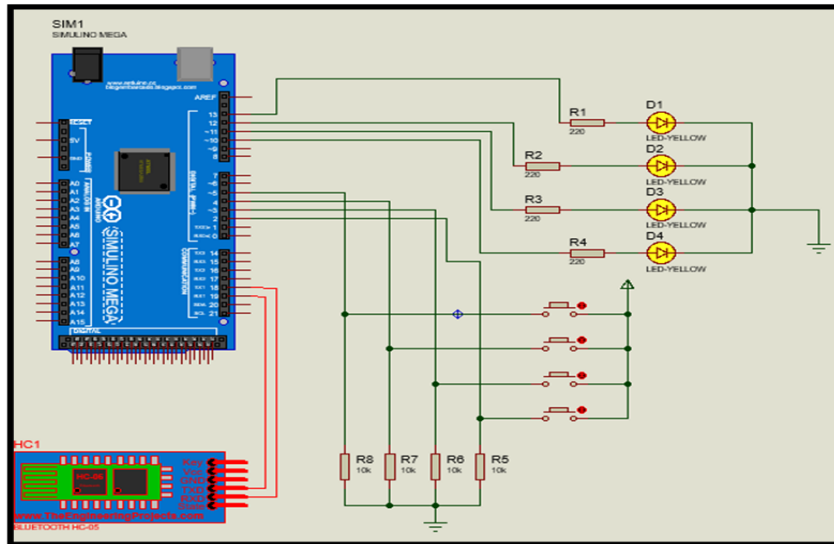
#### II.5.3.1. Contrôle manuel du système (mode manuel)

Dans cette première phase de simulation du mode manuel et afin de minimiser, voire éliminer tous les problèmes de la programmation sous MIT APP Inventor, nous avons repris le circuit permettant de contrôler l'allumage et l'extinction de plusieurs LEDs, présenté précédemment (Fig. 32) puis nous avons étendu cette logique au contrôle des moteurs à distance via une connexion Bluetooth entre le module HC-05 et le smartphone.

- **Contrôle des LEDs via Bluetooth sous ISIS Proteus :**

Le but de cette simulation est de tester le bon fonctionnement de la communication série (UART) entre le module Bluetooth et la carte Arduino Mega, ainsi que comportement des sorties numériques utilisées pour allumer les LEDs selon les commandes envoyées depuis l'application mobile.

Le circuit simulé est présenté dans la figure 43.



**Figure 43: Simulation du contrôle des LEDs via Bluetooth**

Le module Bluetooth est configuré pour recevoir les commandes depuis l'application mobile. Chaque bouton de l'application, lorsqu'il est pressé, envoie un signal spécifique à l'Arduino. Ce dernier interprète ce signal et active ou désactive la LED correspondante. Cette simulation a été réalisée sous ISIS Proteus tout en implémentant le programme Arduino associé (Fig. 44), ce qui a permis de valider le fonctionnement du mode manuel avant la mise en œuvre pratique.

```
//Déclaration des broches où sont connectées les LEDs
int led1 = 2;
int led2 = 3;
int led3 = 4;
int led4 = 5;

void setup() {
  //définir les broches des LEDs comme sorties
  pinMode(led1, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
  pinMode(led3, OUTPUT);
  pinMode(led4, OUTPUT);
  //Initialisation de la communication série avec l'ordinateur
  Serial.begin(9600);
  //Initialisation de la communication série avec le module Bluetooth (HC-05)
  Serial1.begin(9600);
}

void loop() {
  //vérifier si des données sont disponibles depuis le module Bluetooth
  if (Serial1.available()) {
    char command = Serial1.read(); //lire le caractère reçu
    Serial.println(command); //Afficher la commande reçue

    //vérifier quelle commande a été reçue et allume ou éteindre les LEDs correspondantes
    if (command == '1') {
      digitalWrite(led1, HIGH);
      Serial.println("LED 1 ON");
    }
    else if (command == '2') {
      digitalWrite(led1, LOW);
      Serial.println("LED 1 OFF");
    }
  }
}
```

**Figure 44: Programme Arduino pour le contrôle des LEDs via Bluetooth**

- **Contrôle des moteurs via Bluetooth sous ISIS :**

Comme nous l'avons fait précédemment, nous allons remplacer les quatre LEDs par quatre moteurs DC, tout en conservant le même principe de commande via les boutons (Fig. 45).

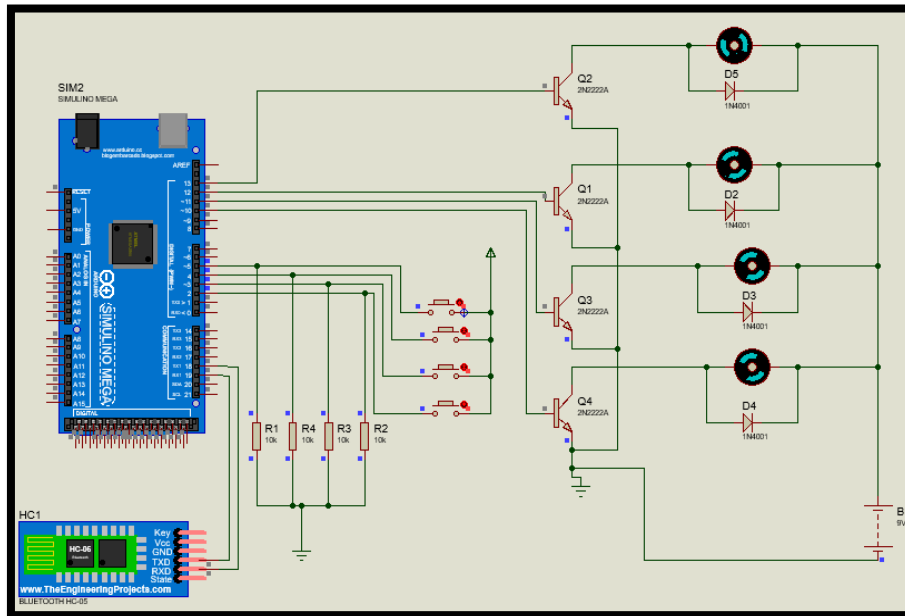


Figure 45: Simulation du contrôle des moteurs via Bluetooth

```
//Déclaration des broches où sont connectés les LEDs
int motor1 = 2;
int motor2 = 3;
int motor3 = 4;
int motor4 = 5;

void setup() {
  //définir les broches des LEDs comme sorties
  pinMode(motor1, OUTPUT);
  pinMode(motor2, OUTPUT);
  pinMode(motor3, OUTPUT);
  pinMode(motor4, OUTPUT);
  //Initialisation de la communication série avec l'ordinateur
  Serial.begin(9600);
  //Initialisation de la communication série avec le module Bluetooth (HC-05)
  Serial1.begin(9600);
}
```

```
void loop() {
  //vérifier si des données sont disponibles depuis le module Bluetooth
  if (Serial1.available()) {
    char command = Serial1.read(); //lire le caractère reçu
    Serial.println(command); //Afficher la commande reçue
    //vérifier quelle commande a été reçue et allume ou éteint les LEDs correspondantes
    if (command == '1') {
      digitalWrite(motor1, HIGH);
      Serial.println("motor 1 ON");
    }
    else if (command == '2') {
      digitalWrite(motor1, LOW);
      Serial.println("motor 1 OFF");
    }
  }
}
```

Figure 46: Programme Arduino du contrôle des moteurs via Bluetooth

Ce programme interprète les signaux envoyés depuis l'application mobile et active les sorties correspondantes sur la carte Arduino. Dans le cas des LEDs, chaque sortie commande l'allumage et l'extinction, tandis que pour les moteurs, ces mêmes sorties sont utilisées pour activer leur rotation. Ainsi, le même principe de programmation est appliqué, avec une simple modification des noms des variables pour passer des LEDs aux moteurs.

### II.5.3.2. Surveillance sur le fonctionnement du sélecteur (mode auto)

Dans cette étape, nous avons simulé le mode automatique, dans lequel le contrôle des moteurs ne dépend plus de l'utilisateur via l'application, mais directement de l'état réel détecté par les boutons poussoirs connectés à la carte Arduino. Chaque bouton représente l'état de la roue si elle est en contact avec le sol ou si elle est suspendue.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

- Si le bouton poussoir est appuyé, cela signifie que la roue est en contact avec le sol. Dans ce cas, le moteur correspondant est activé automatiquement. Cette information est envoyée via Bluetooth vers l'application mobile tout en indiquant que la roue concernée dispose d'une bonne motricité (couleur verte).
- Si le bouton poussoir est relâché, cela signifie que la roue n'est pas en contact avec le sol et le moteur sera désactivé. Cette information est envoyée via Bluetooth tout en indiquant que la roue concernée est en perte d'adhérence (couleur rouge).

Cette approche permet d'assurer un retour d'information en temps réel entre la voiture et le conducteur, et de simuler le comportement intelligent du système dans des situations hors route.

## II.6. Conclusion

Ce chapitre a permis de poser les bases techniques de notre projet en détaillant les composants matériels choisis, les outils informatiques utilisés ainsi que les différentes étapes de développement réalisées. Chaque simulation a constitué une base solide pour entamer, dans le chapitre suivant, la concrétisation de notre solution à travers l'assemblage physique, le câblage des composants, et la mise en œuvre pratique du prototype.

# **Chapitre III :**

## **Conception et réalisation**

### III.1. Introduction

Ce chapitre représente l'étape clé de notre projet, où les idées théoriques et les étapes de simulation prennent forme dans une réalisation concrète. Dans une première étape, nous avons commencés par valider la partie simulation que ce soit pour le circuit qui contrôle les quatre moteurs selon l'état des boutons poussoirs, ainsi que pour la communication avec une application mobile permettant la supervision de notre système. Dans une deuxième étape, nous avons entamé la conception 3D des différentes pièces mécaniques constituant notre prototype. Ensuite, l'imprimante 3D est utilisée pour fabriquer ces différentes pièces qui seront par la suite assemblées afin de donner naissance à un prototype fonctionnel.

Le schéma donné par la figure suivante illustre bien l'architecture globale de notre système qui se compose de plusieurs étapes.

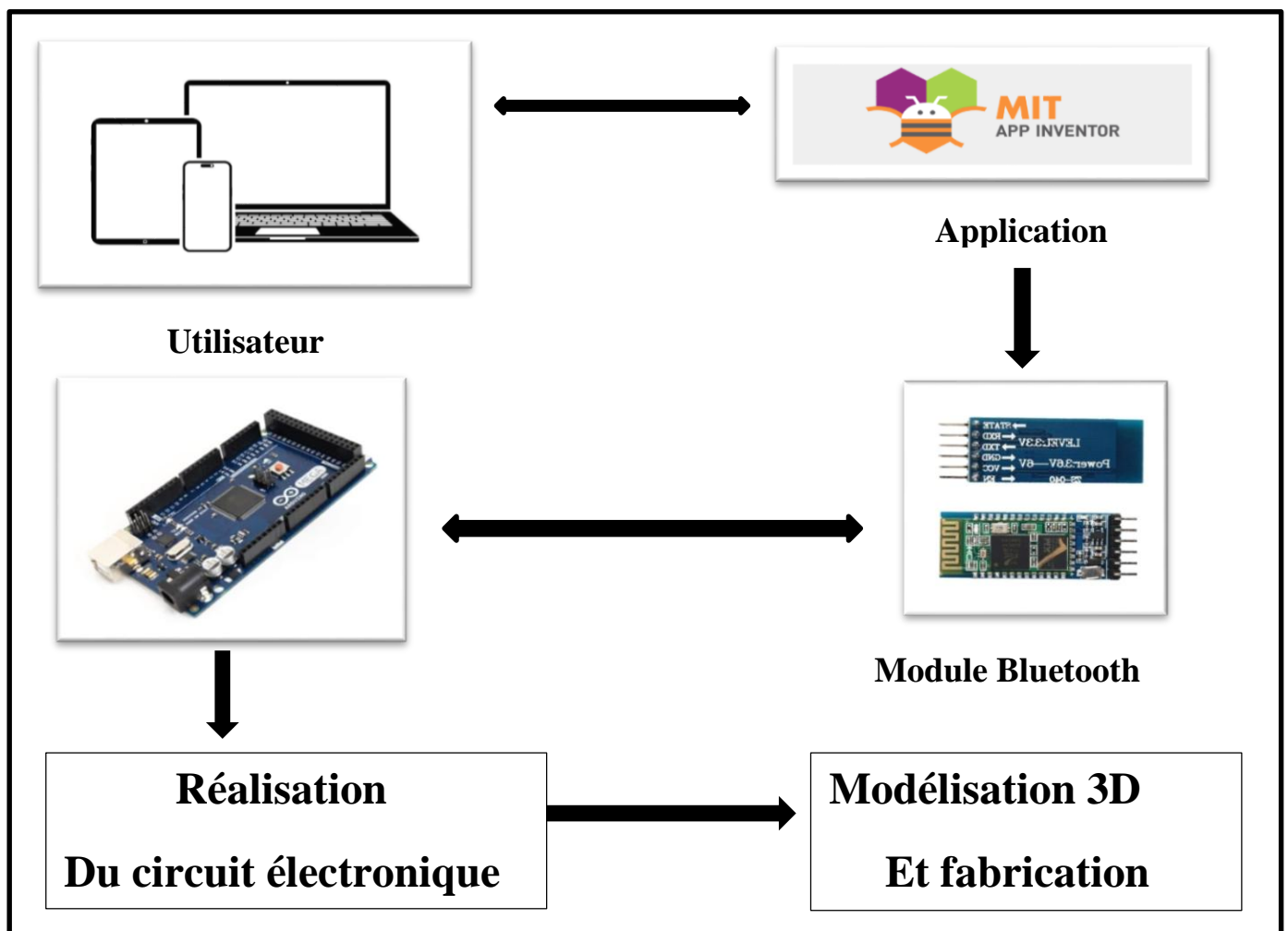


Figure 47 : Architecture globale du système

### III.2. Validation des différentes simulations

#### III.2.1. Validation du circuit

Les simulations effectuées au cours du chapitre précédent nous ont permis de développer et de présenter le circuit électronique complet, issu des différentes phases de test et de conception. Ce montage final regroupe l'ensemble des composants nécessaires au bon fonctionnement du système de sélection de motricité pour les véhicules off-road (Fig. 48). Il inclut notamment les quatre moteurs à courant continu, les transistors de commande, les diodes de roue libre, l'alimentation, ainsi que la carte Arduino Mega et le module Bluetooth. Le schéma final représente la concrétisation matérielle de l'architecture définie dans les étapes antérieures.

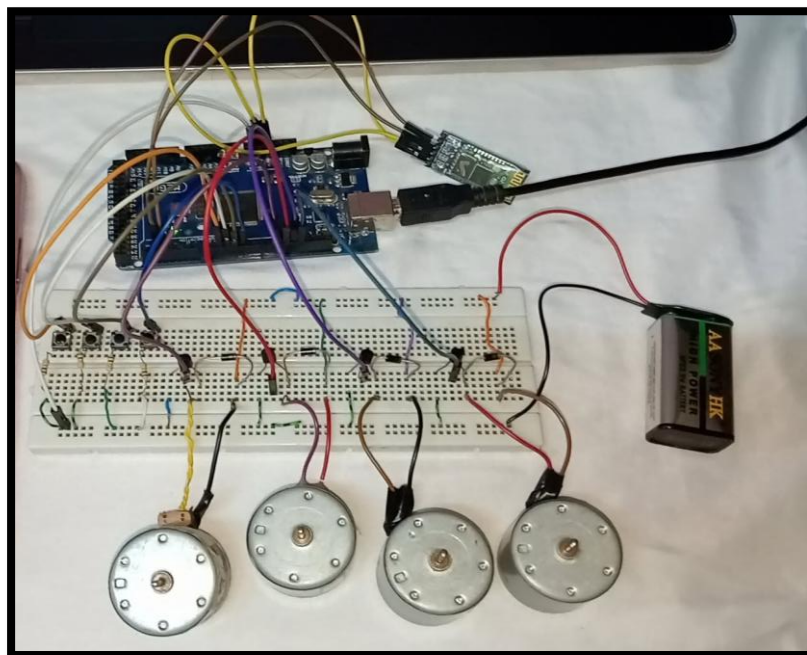


Figure 48 : Circuit permettant la sélection de motricité

#### III.2.2. Validation de l'application mobile

Dans le cadre de ce projet, l'application (.APK) est une application que l'on a développée sur la plateforme 'MIT APP Inventor' dans le but de permettre à l'utilisateur de contrôler le système via une interface simple. Cette application joue un rôle central dans la commande à distance des moteurs, grâce à la communication sans fil via le module Bluetooth HC-05. Elle permet d'envoyer des commandes à la carte Arduino, lesquelles sont ensuite interprétées pour actionner les moteurs. Des interfaces conviviales entre l'utilisateur et le système électronique ont été créées. L'application se compose de quatre interfaces principales qui sont :

### III.2.2.1. Interface d'authentification

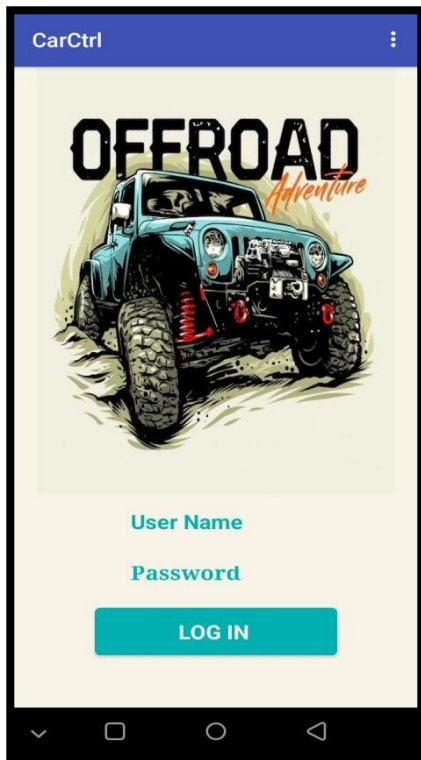



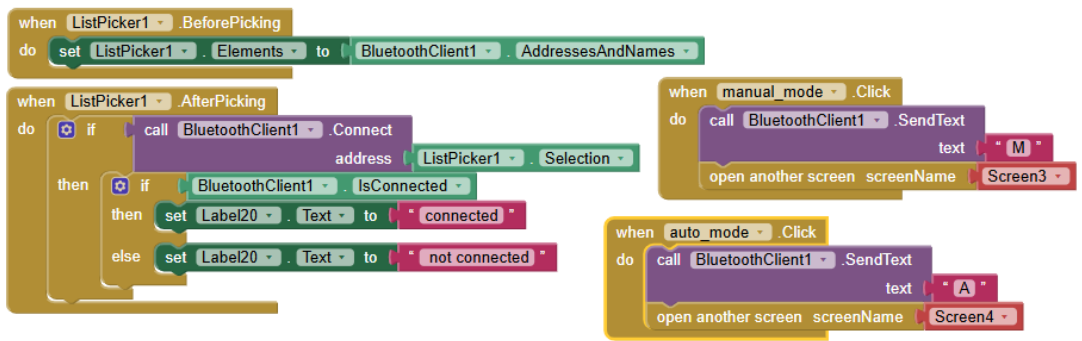
Figure 49 : L'interface d'authentification

Lors du démarrage de l'application, une première interface de connexion s'affiche demandant un nom d'utilisateur et un mot de passe. Cette étape permet de sécuriser l'accès au système et d'éviter toute manipulation non autorisée.

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Espace Blocs</b>   | <pre>when loginBtn Click do   if     userName_txt Text = "SITA2025" and PasswordTextBox1 Text = "1234"   then     open another screen screenName Screen2   else     call Notifier1 ShowAlert     notice "ERROR"</pre>   |
| <b>Fonctionnement</b> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. L'utilisateur saisit son nom d'utilisateur ainsi que le mot de passe dans les champs dédiés</li><li>2. Lors du clic sur le bouton de connexion, les informations saisies seront vérifiées et l'application passe à l'interface suivante</li><li>3. Si les identifiants ne sont pas corrects, un message d'erreur s'affiche à l'aide du composant de notification « Notifier ».</li></ol> |

III.2.2.2. Interface de sélection des modes

|  |   |
|--|---|
|  <p>Figure 50. Interface de sélection du mode de fonctionnement</p> | <p>Après la connexion, l'utilisateur accède à l'interface principale, où deux boutons sont affichés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Bouton mode Manuel</li> <li>✓ Bouton mode Automatique</li> </ul> <p>Chaque bouton permet d'accéder à une interface correspondant au mode choisi.</p> |
|--|---|

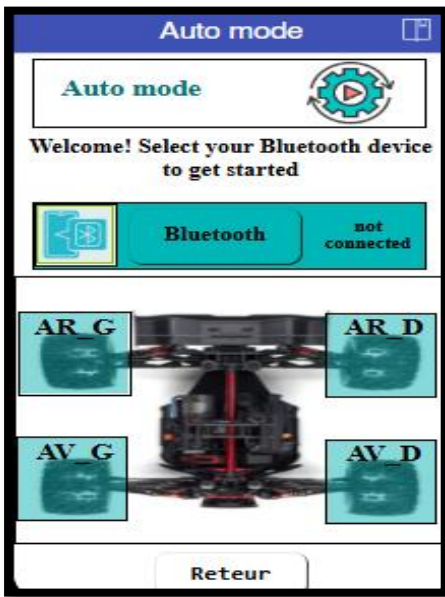
|                       |   |
|-----------------------|---|
| <p>Espace Blocs</p>   |   |
| <p>Fonctionnement</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Connexion Bluetooth :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'utilisateur clique sur ListPicker1 pour afficher les périphériques Bluetooth disponibles.</li> <li>• Après sélection du périphérique souhaité, le système tente de se connecter au périphérique et affiche "connected" une fois connecté. Si la connexion n'est pas établie, il nous affiche "not connected".</li> </ul> </li> <li>2. <b>Choix du mode :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En cliquant sur le bouton Manual <b>mode</b>, l'application envoie "M" à l'Arduino et ouvre l'interface du mode manuel.</li> <li>• En cliquant sur le bouton Auto mode, elle envoie "A" et passe à l'interface du mode auto.</li> </ul> </li> </ol> |

III.2.2.3. Interface du mode manuel

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Dans le mode manuel, l'utilisateur peut contrôler individuellement chaque moteur à l'aide de boutons ON/OFF, ce qui permet une gestion manuelle de la sélection des roues permettant l'avancement du véhicule. Ce mode est particulièrement utile lors des phases de test ou pour une conduite personnalisée sur le terrain. Il offre à l'utilisateur une liberté totale de manipulation, permettant ainsi une meilleure adaptabilité aux différentes conditions de terrain</p> |
| <p><b>Figure 51 : Interface du mode manuel</b></p> |  |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <p><b>Espace Blocs</b></p>   |   |
| <p><b>Fonctionnement</b></p> | <p>Le contrôle des quatre roues est totalement manuel et ce en implémentant les blocks montrés ci-dessus.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En cliquant sur le bouton M1_ON, la commande "1" est donc envoyée via Bluetooth vers notre circuit pour mettre en marche le moteur 1. Cependant, la commande "2" sert à mettre à l'arrêt ce moteur.</li> <li>2. La même procédure est appliquée aux 3 autres roues.</li> <li>3. Le bouton 'Retour' permet de revenir à l'interface de sélection des modes.</li> </ol> |

III.2.2.4. Interface du mode automatique



L'interface du mode automatique s'affiche dès que le mode auto est sélectionné dans la deuxième interface. Ici, nous pouvons surveiller visuellement l'état des quatre roues.

Figure 52 : Interface mode auto

Espace Blocs

```

when Clock1.Timer
do
if
BluetoothClient1.IsConnected and
call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive
numberOfBytes call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive
then
set global receivedData to call BluetoothClient1.ReceiveText
set global Data list to call global receivedData
at 1
if
select list item list get global Data list
index 1
then
set Label5.BackgroundColor to green
else if
select list item list get global Data list
index 1
then
set Label5.BackgroundColor to red
if
select list item list get global Data list
index 2
then
set Label6.BackgroundColor to green
else if
select list item list get global Data list
index 2
then
set Label6.BackgroundColor to red
if
select list item list get global Data list
index 3
then
set Label7.BackgroundColor to green
else if
select list item list get global Data list
index 3
then
set Label7.BackgroundColor to red
if
select list item list get global Data list
index 4
then
set Label8.BackgroundColor to green
else if
select list item list get global Data list
index 4
then
set Label8.BackgroundColor to red
set global receivedData to
set global Data list to call create empty list
    
```

Fonctionnement

Un minuteur ('Clock1.Timer') permet de vérifier en continu si des données sont reçues via le module Bluetooth. Lorsque des données sont disponibles, formant ainsi une liste, chaque élément de cette liste représente l'état d'une roue, déterminé par un bouton poussoir. Le système vérifie ces éléments un par un : si une valeur reçue correspond à une lettre majuscule ("B","D","F","H"), cela signifie que la roue concernée est en contact avec le sol et un indicateur visuel (Label) passe au vert. Si la valeur est une lettre majuscule ("C","E","G","I"), cela signifie que la roue est suspendue, et l'indicateur passe au rouge. Ce processus se répète automatiquement, assurant un suivi en temps réel de l'état des roues.

## III.2.2.5. Programme Arduino associé à l'application mobile

| Déclaration des variables  | Choix des modes : manuel ou automatique   |
|--|---|
| <pre>int motor1 = 8; int motor2 = 11; int motor3 = 12; int motor4 = 13;  int button1 = 5; int button2 = 4; int button3 = 3; int button4 = 2;  bool Automode = false; unsigned long dernierDebounceTime = 0; const unsigned long debounceDelay = 2000;  void setup() {   pinMode(motor1, OUTPUT);   pinMode(motor2, OUTPUT);   pinMode(motor3, OUTPUT);   pinMode(motor4, OUTPUT);    pinMode(button1, INPUT_PULLUP);   pinMode(button2, INPUT_PULLUP);   pinMode(button3, INPUT_PULLUP);   pinMode(button4, INPUT_PULLUP);    Serial.begin(9600);   Serial1.begin(9600); }</pre>   | <pre>void loop() {   // Partie originale inchangée (communication série)   if (Serial1.available()) {     char command = Serial1.read();     Serial.println(command);     if (command == 'M') {        Automode = false;       Serial.println("Manual Mode Activé");       // Éteint tous les moteurs en quittant le mode auto       digitalWrite(motor1, LOW);       digitalWrite(motor2, LOW);       digitalWrite(motor3, LOW);       digitalWrite(motor4, LOW);     } else if (command == 'A') {       Automode = true;       Serial.println("Auto mode Activé");     }   }    if (!Automode) {     if (command == '1') {       digitalWrite(motor1, HIGH);       Serial.println("MOTOR 1 ON");     } else if (command == '2') {       digitalWrite(motor1, LOW);       Serial.println("MOTOR 1 OFF");     }   } }</pre>   |
| Mode manuel  | Mode automatique  |
| <pre>if (!Automode) {   if (command == '1') {     digitalWrite(motor1, HIGH);     Serial.println("MOTOR 1 ON");   } else if (command == '2') {     digitalWrite(motor1, LOW);     Serial.println("MOTOR 1 OFF");   } else if (command == '3') {     digitalWrite(motor2, HIGH);     Serial.println("MOTOR 2 ON");   } else if (command == '4') {     digitalWrite(motor2, LOW);     Serial.println("MOTOR 2 OFF");   } else if (command == '5') {     digitalWrite(motor3, HIGH);     Serial.println("MOTOR 3 ON");   } else if (command == '6') {     digitalWrite(motor3, LOW);     Serial.println("MOTOR 3 OFF");   } else if (command == '7') {     digitalWrite(motor4, HIGH);     Serial.println("MOTOR 4 ON");   } else if (command == '8') {     digitalWrite(motor4, LOW);     Serial.println("MOTOR 4 OFF");   } }</pre> | <pre>if ((millis() - dernierDebounceTime) &gt; debounceDelay) {   dernierDebounceTime = millis();    // Contrôle direct des moteurs par les boutons   digitalWrite(motor1, digitalRead(button1) == HIGH ? LOW : HIGH);   digitalWrite(motor2, digitalRead(button2) == HIGH ? LOW : HIGH);   digitalWrite(motor3, digitalRead(button3) == HIGH ? LOW : HIGH);   digitalWrite(motor4, digitalRead(button4) == HIGH ? LOW : HIGH);    // Communication série optionnelle (identique à votre version)   if (digitalRead(button1) == HIGH) {     Serial1.println("B");     Serial.println("B");   } else {     Serial1.println("C");     Serial.println("C");   }   if (digitalRead(button2) == HIGH) {     Serial1.println("D");     Serial.println("D");   } else {     Serial1.println("E");     Serial.println("E");   }   if (digitalRead(button3) == HIGH) {     Serial1.println("F");     Serial.println("F");   } else {     Serial1.println("G");     Serial.println("G");   }   if (digitalRead(button4) == HIGH) {     Serial1.println("H");     Serial.println("H");   } else {     Serial1.println("I");     Serial.println("I");   } }</pre> |

### III.3. Fabrication du prototype

#### III.3.1. Conception 3D

Toute impression 3D commence par la modélisation numérique de l'objet à fabriquer. Cette étape essentielle repose sur l'utilisation de logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO), qui permettent de créer une représentation virtuelle précise du produit. Parmi les outils couramment utilisés, Autodesk Inventor se distingue par ses fonctionnalités avancées en modélisation, simulation et visualisation.

##### III.3.1.1. Présentation du logiciel Autodesk Inventor

Autodesk Inventor se trouve parmi les logiciels de conception 3D les plus répandus dans le domaine de la conception mécanique. Il est largement utilisé pour le développement de prototypes numériques permettant de modéliser, visualiser et simuler des produits avant leur fabrication. Grâce à la modélisation solide paramétrique, ce logiciel offre une grande flexibilité en facilitant les ajustements rapides des dimensions et des formes du modèle. Son interface intuitive et son flux de travail structuré contribuent à optimiser le processus de conception tout en assurant la précision et l'efficacité. [51]

La figure suivante présente l'interface principale du logiciel Autodesk Inventor. On retrouve les éléments essentiels à la modélisation 3D, tels que le ruban des outils, la zone de conception, et le navigateur de composants cette disposition claire et structurée permet une prise en main rapide du logiciel.

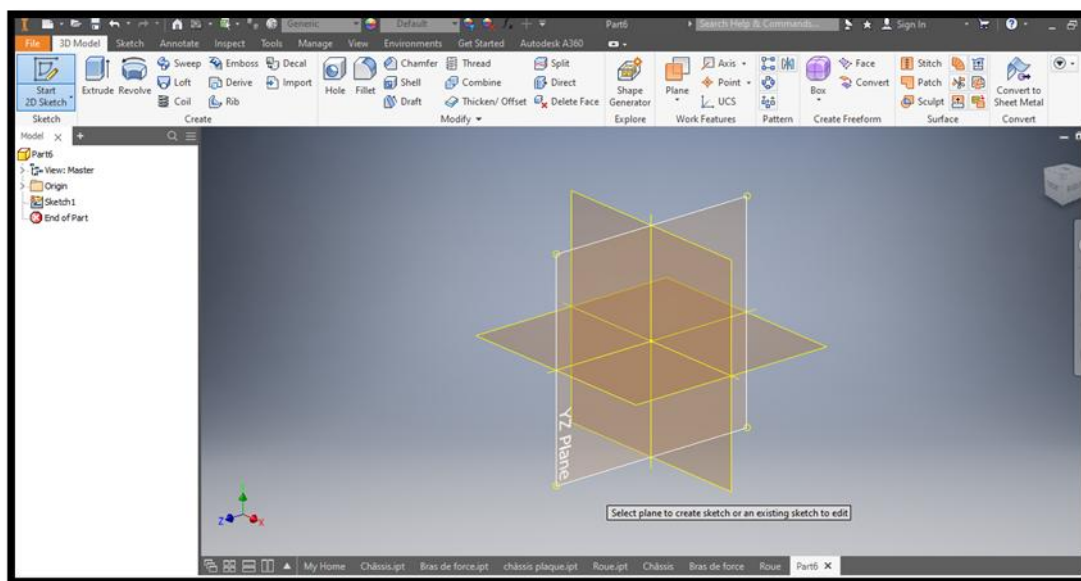


Figure 53.interface du logiciel Autodesk Inventor

### III.3.1.2. Conception des différentes pièces

Notre prototype est réalisé via l'assemblage des différents éléments qui sont :

#### III.3.1.2.1. Châssis

Le châssis est la base principale du prototype (Fig. 54). Il contient des zones spécifiques pour fixer la carte Arduino, les batteries et les fils de connexion. Il comprend également quatre emplacements destinés à accueillir les bras de force. Sa conception permet une bonne organisation des composants électroniques et mécaniques.

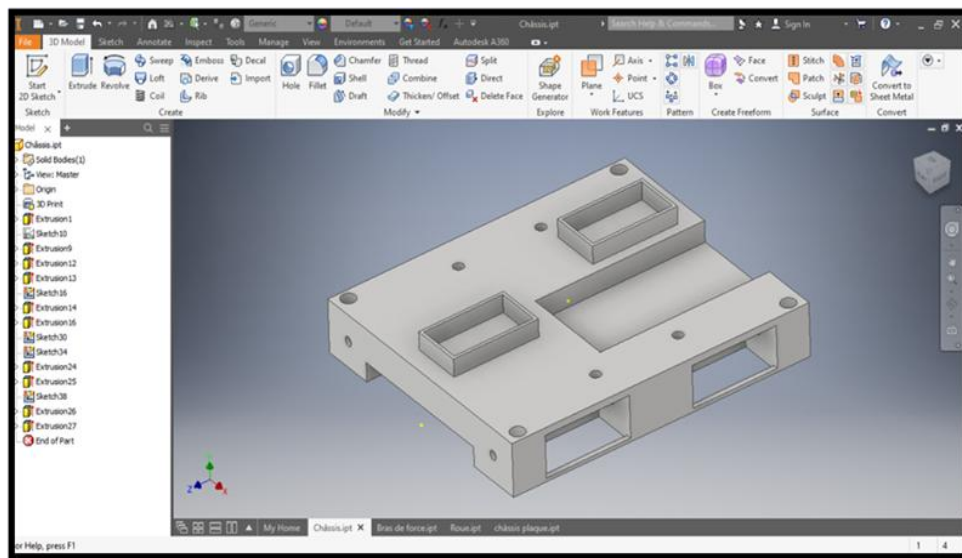


Figure 54. Modèle 3D du châssis

La figure suivante représente le dessin technique du châssis.

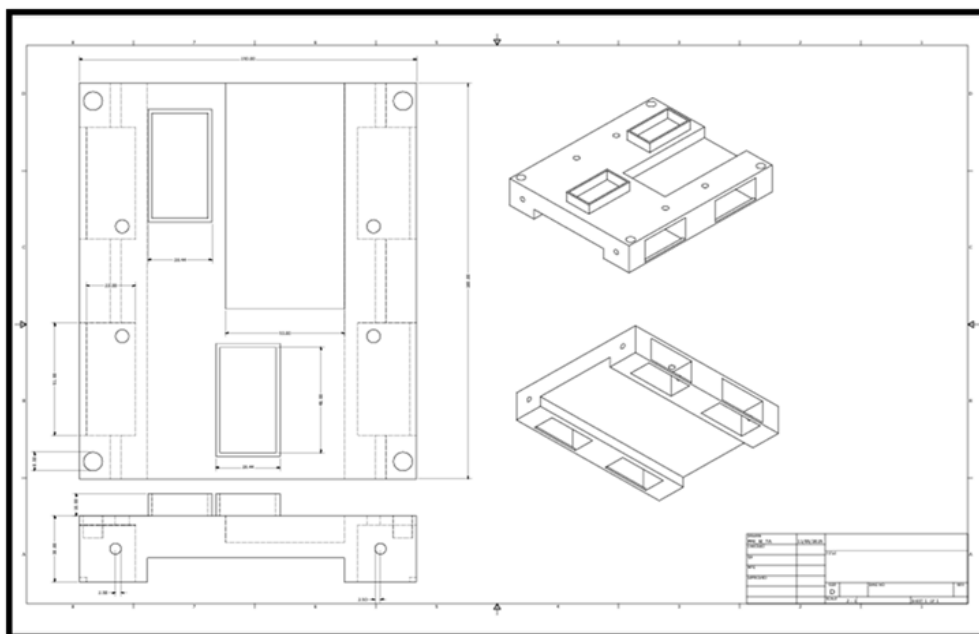


Figure 55. Dessin technique du châssis

### III.3.1.2.2. Roue

La roue est une pièce essentielle permettant le déplacement du véhicule (Fig. 56). Elle a été conçue en forme circulaire avec des crampons sur le bord pour améliorer l'adhérence au sol. La roue contient aussi des branches à l'intérieur pour la renforcer tout en restant légère. Un trou central a été ajouté pour pouvoir la fixer facilement sur l'axe du moteur. Cette conception simple et fonctionnelle a été pensée pour être fabriquée facilement.

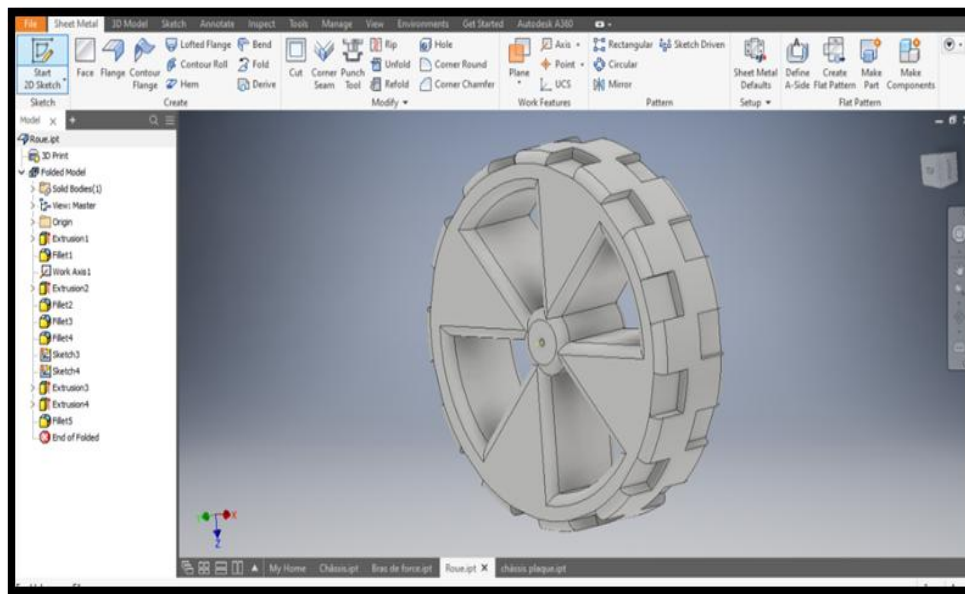


Figure 56. Modèle 3D de la roue

On présente dans la figure ci-dessous le dessin technique de la roue.

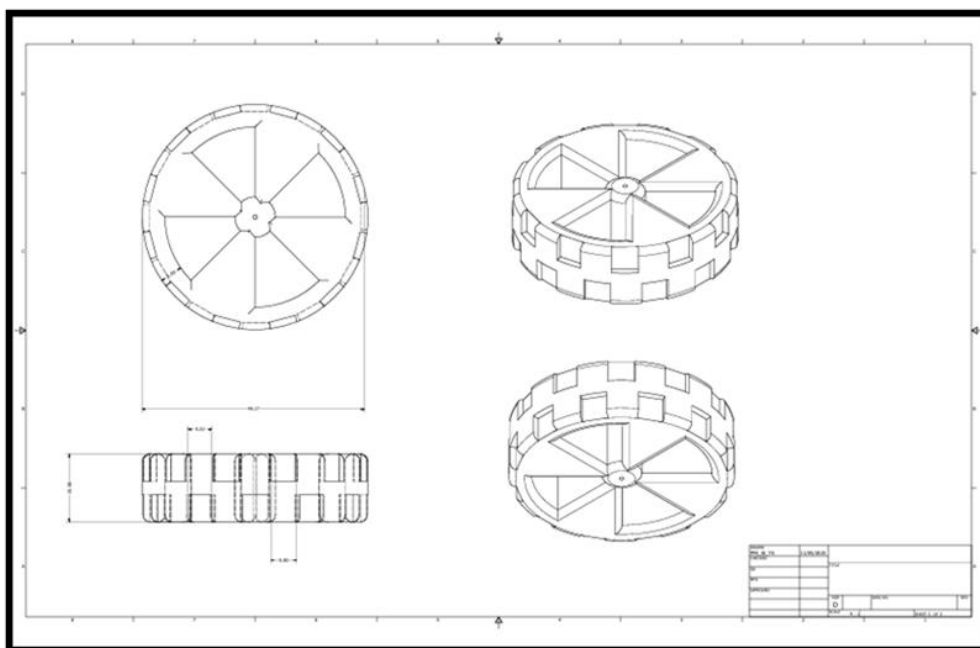


Figure 57. Dessin technique de la roue

### III.3.1.2.3. Bras de force

Le bras de force est une pièce mécanique (Fig. 58) conçue pour relier le châssis aux roues tout en assurant la transmission du mouvement. Il a été modélisé avec des dimensions précises pour garantir sa stabilité et sa compatibilité avec le reste du système. Cette pièce joue un rôle clé dans la mobilité du prototype et a été conçue pour supporter les contraintes mécaniques durant le déplacement.

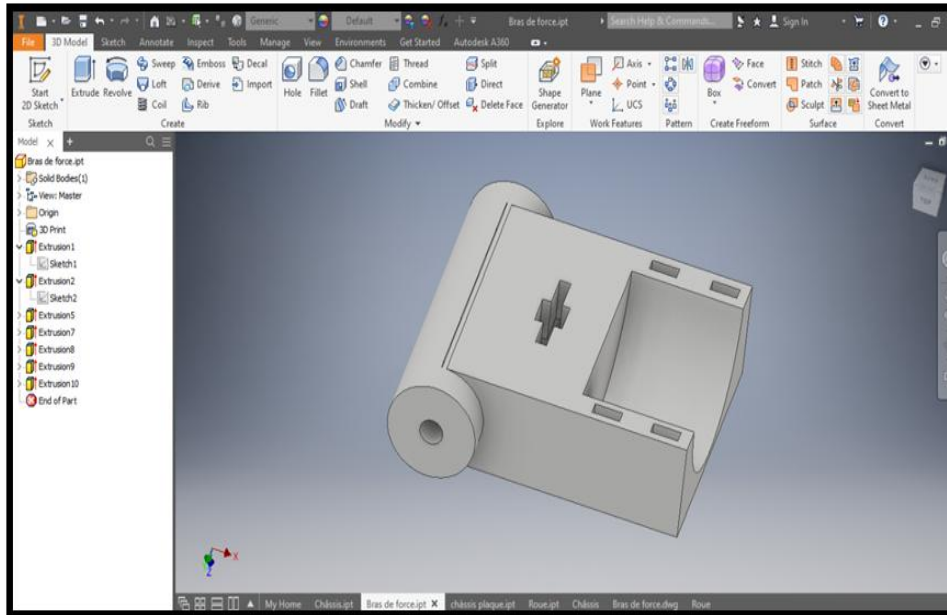


Figure 58. Modèle 3D du bras de force

Le dessin technique du bras de force est présenté dans la figure suivante.

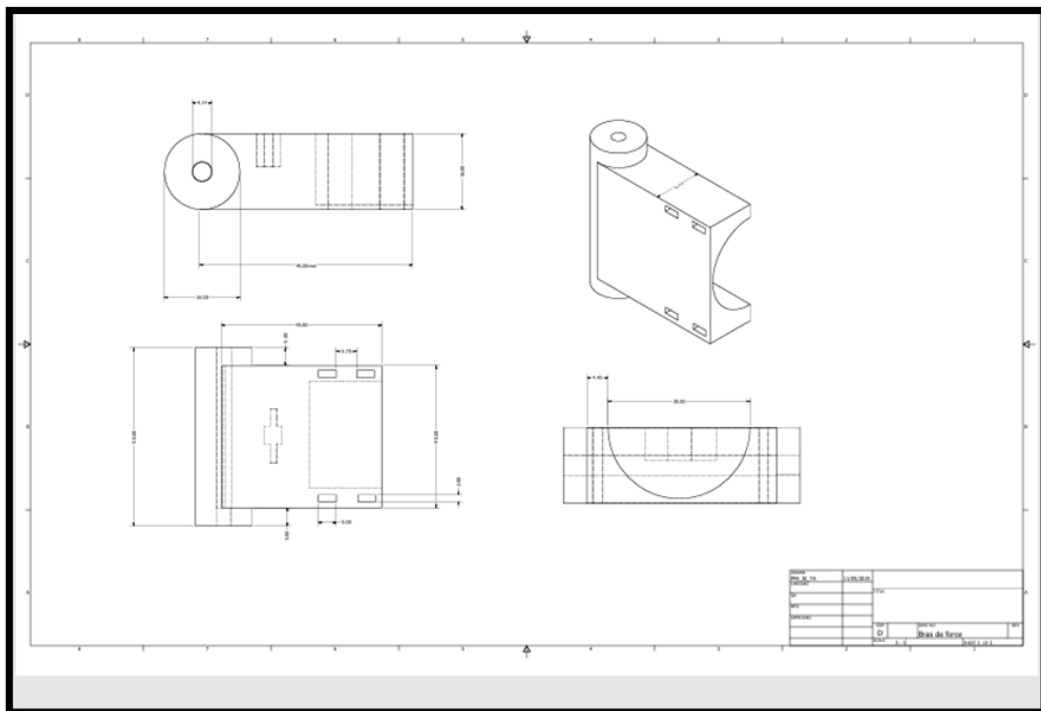


Figure 59. Dessin technique du bras de force

Après la conception et la modélisation des différentes pièces, le logiciel Inventor permet également de générer un fichier au format STL, qui sera utilisé par la suite pour l'impression 3D.

### III.3.2. Logiciel Simplify3D

#### III.3.2.1. Définition

Simplify3D est un élément central dans la chaîne d'optimisation de fabrication additive qui permet la conversion des modèles 3D (éventuellement au format STL, OBJ ou 3MF) en instructions machine, paramétrables en fonction de l'imprimante 3D, sous forme de fichier '.Gcode'. Il fonctionne sur une variété d'imprimantes 3D professionnelles et grand public [52].

L'interface de Simplify3D est claire et bien structurée. La vue en trois dimensions centrale permet de visualiser le modèle et de simuler l'impression. Une barre d'outils offre les fonctions essentielles (importation, positionnement, configuration). Plusieurs onglets (Layer, Infill, Support, Température, etc.) permettent de régler les paramètres d'impression avec précision.

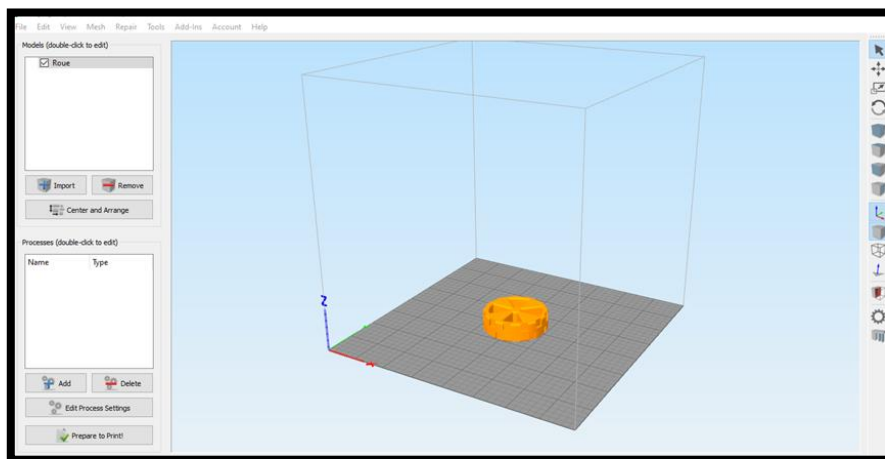


Figure 60 : Interface du logiciel Simplify3D

Simplify3D propose également une prévisualisation réaliste couche par couche de l'objet à imprimer (Fig.61), ce qui facilite la détection des erreurs avant le lancement de l'impression.

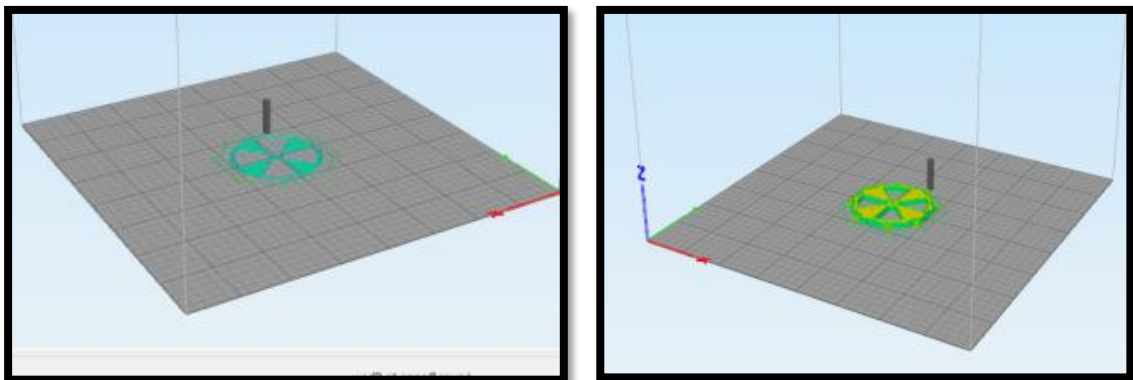
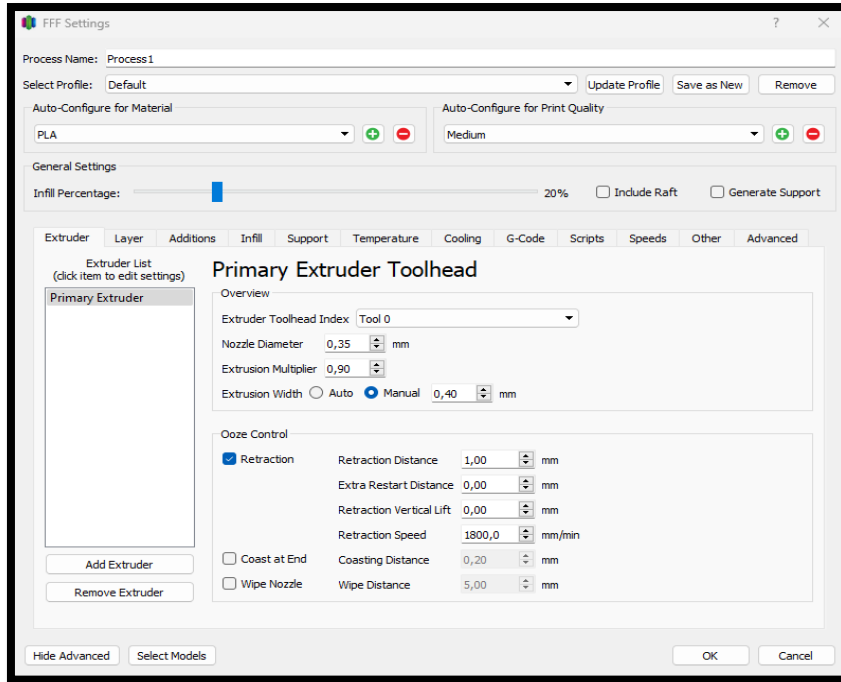


Figure 61 . Prévisualisation de la 1<sup>ère</sup> et la 19<sup>ème</sup> couche du modèle à imprimer

## III.3.2.2. Configuration des paramètres d'impression 3D

Afin de garantir une impression stable et précise, tout en minimisant les défauts structurels qui pourraient affecter la robustesse du prototype ; Simplify 3D offre des fonctionnalités spécifiques (Fig.17) dont l'objectif principal est d'optimiser le temps d'impression, de réduire la consommation de filament tout en garantissant une bonne qualité de finition et une solidité suffisante.



**Figure 62. Paramétrage de l'impression 3D**

Le tableau suivant présente les principaux onglets de simplify 3D utilisées pour configurer les paramètres d'impression :

**Tableau 4 : Principaux onglets de Simplify3D**

| Onglet    | Fonction principale  |
|-----------|--|
| Extruder  | Diviser en deux sections : Overview et Ooze control, permettant de contrôler les réglages de la buse utilisé pour déposer le filament fondu.         |
| Layer     | C'est le paramétrage des couches imprimées pour obtenir un équilibre entre qualité d'impression, résistance de la pièce et temps de fabrication.     |
| Additions | C'est pour ajouter des éléments auxiliaires au tour ou sous de la pièce pour améliorer l'adhérence au plateau et assurer une impression plus stable. |
| Infill    | Permet de définir la structure de remplissage interne de la pièce imprimée, influençant sa solidité, son poids, et la consommation de matériau.      |

## Chapitre 03 : Conception et réalisation

|             |  |
|-------------|--|
| Support     | Représente la génération des structures de soutien nécessaire pour maintenir les pièces. Il permet d'activer ou non les supports, de choisir leur densité, leur position ainsi que leur distance de séparation avec la pièce.            |
| Temperature | Configurer les températures des éléments chauffants de l'imprimante que ce soit pour l'extrudeuse ou pour le plateau chauffant si présent.   |
| Cooling     | Gère la ventilation pendant l'impression   |
| Speeds      | Contrôle la vitesse d'impression de l'imprimante, il permet de définir la vitesse d'extrusion de chaque parti de la pièce (remplissage, périmètre, couches solide, supports) ainsi que la vitesse de déplacement sur les axes X, Y et Z. |

Grâce à cette étape de l'ajustement des paramètres d'impression, il a été possible de **garantir une impression stable et précise**, tout en minimisant les défauts structurels qui pourraient affecter la robustesse du prototype. De plus, le logiciel nous a permis d'estimer la durée d'impression avec précision, d'améliorer la qualité de finition, et de corriger d'éventuels problèmes de géométrie avant la phase finale de fabrication.

### III.3.2.3. Caractéristiques d'impression 3D pour chaque pièce

Pour chaque pièce du prototype, un paramétrage spécifique a été défini dans Simplify3D en fonction de sa forme, sa fonction mécanique et du matériau utilisé (PLA et PETG dans notre cas). L'objectif principal est d'optimiser le temps d'impression, de réduire la consommation de filament tout en garantissant une bonne qualité de finition et une solidité suffisante. Le tableau suivant présente les données d'impression 3D générées par Simplify3D pour chaque pièce.

**Tableau 5 : Données d'impression 3D générées par Simplify3D pour chaque pièce**

| Pièce                | Temps d'impression | Consommation de filament (g) | Hauteur des couches (mm) | Remplissage (%) | Support |
|----------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|---------|
| <b>Châssis</b>       | 11 h 31 min        | 183.47 G                     | 61021.1 mm               | 100%            | Oui     |
| <b>Bras de force</b> | 0 h 59 min         | 13.48 G                      | 4484.4 mm                | 100 %           | Non     |
| <b>Roue</b>          | h 59 min           | 11.25 G                      | 3741.7                   | 100%            | Non     |

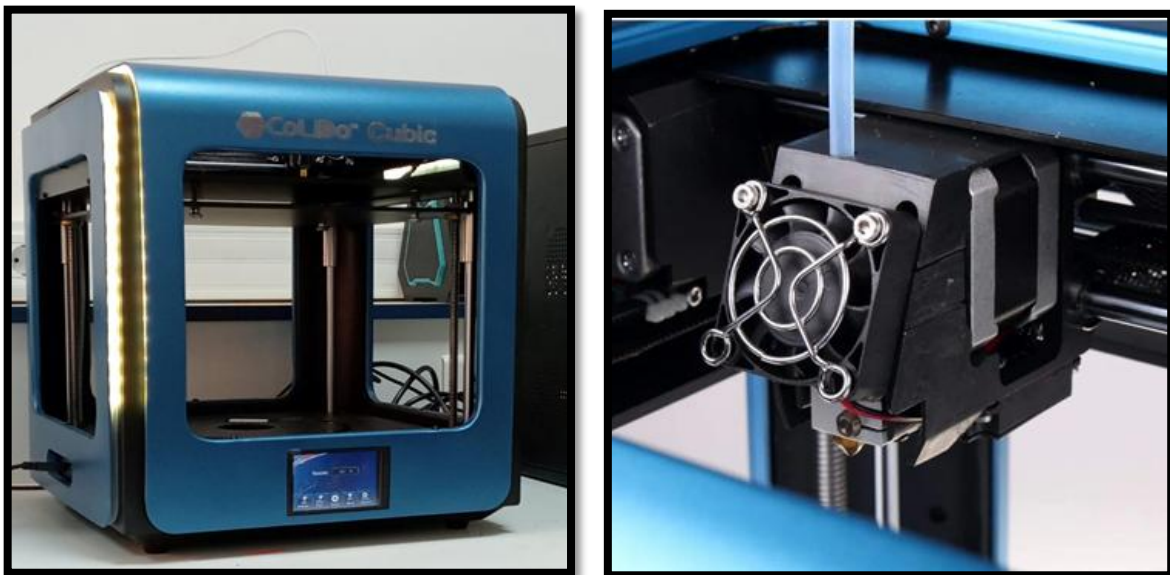
### III.3.3. Impression 3D du prototype

Après la modélisation des pièces et la génération des fichiers d'impression à l'aide du logiciel Simplify3D, nous sommes passés à la phase de fabrication physique du prototype. Celle-ci repose sur l'utilisation de l'impression 3D, une technologie de prototypage rapide dont la machine utilisée dans notre projet est une imprimante 3D de la marque CoLiDo Cubic. Cette section détaille d'abord les caractéristiques techniques de la machine utilisée, puis décrit le processus de préparation à l'impression, avant de conclure par la vérification des pièces obtenues.

#### III.3.3.1 Présentation de la machine CoLiDo Cubic

##### a) Définition

L'imprimante Colido 3D Cubic est une imprimante 3D de bureau utilisant la technologie FDM (Fused Deposition Modeling), spécialement conçue pour les besoins en prototypage rapide, formation et petite production. Elle se distingue par sa structure simple, son fonctionnement intuitif et sa compatibilité avec les matériaux thermoplastiques les plus courants, tels que le PLA. Cette imprimante est équipée d'un châssis ouvert, facilitant l'accès au plateau d'impression et la surveillance du processus. Son extrudeur simple permet l'impression monocouleur avec une buse standard de 0.4 mm, offrant un bon compromis entre précision et rapidité d'exécution. Elle intègre également un petit écran de contrôle en façade, permettant de gérer facilement les paramètres d'impression.



**Figure 63 : Imprimante 3D 'CoLiDo Cubic'**

Les différentes caractéristiques techniques de CoLiDo 3D Cubic sont :

- Technologie d'impression : FDM (dépôt de filament fondu)
- Volume d'impression : Environ 200 x 200 x 180 mm (variable selon le modèle)
- Précision : Résolution de couche jusqu'à 100 microns

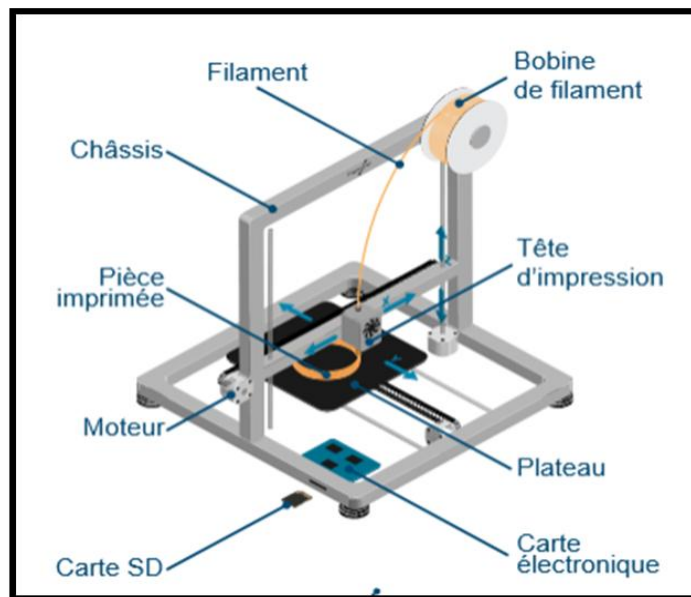
## Chapitre 03 : Conception et réalisation

- Diamètre du filament : 1,75 mm
- Plateau : Non chauffant, avec surface adhérente
- Matériaux compatibles : Principalement PLA – idéal pour éviter les déformations
- Structure : Châssis ouvert, assurant une meilleure visibilité et accessibilité
- Logiciels compatibles : Cura, Repetier-Host, Simplify3D

### b) Structure de l'imprimante 3D

Une imprimante 3D FDM est composée de plusieurs éléments :

- Un châssis servant à maintenir l'ensemble des composants de l'imprimante.
- Un plateau d'impression, sur lequel l'objet est fabriqué ; ce plateau peut être chauffé sur certains modèles afin d'améliorer l'adhérence de la pièce pendant l'impression, il se déplace selon l'axe Z
- Une tête d'impression mobile sur les axes X et Y
- Une bobine de filament utilisée comme matière première
- Trois moteurs assurant les mouvements selon les axes X, Y et Z
- Une carte électronique qui contrôle les moteurs, le plateau chauffant et la tête d'impression
- Une carte SD ou une clé USB contenant le fichier d'impression au format GCODE [53]



**Figure 64. Schéma fonctionnel d'une imprimante 3D FDM [53]**

La tête d'impression utilisée dans la technologie FDM est composée de plusieurs éléments essentiels assurant le bon déroulement du processus d'extrusion. Elle comprend :

- Un moteur d'extrusion, chargé d'entraîner le filament vers la zone de chauffe,
- Une résistance chauffante, qui élève la température afin de faire fondre le matériau,
- Un ventilateur, servant à stabiliser la température et éviter les surchauffes,
- Ainsi qu'une buse, permettant le dépôt précis du filament fondu sur le plateau, couche par couche [53]

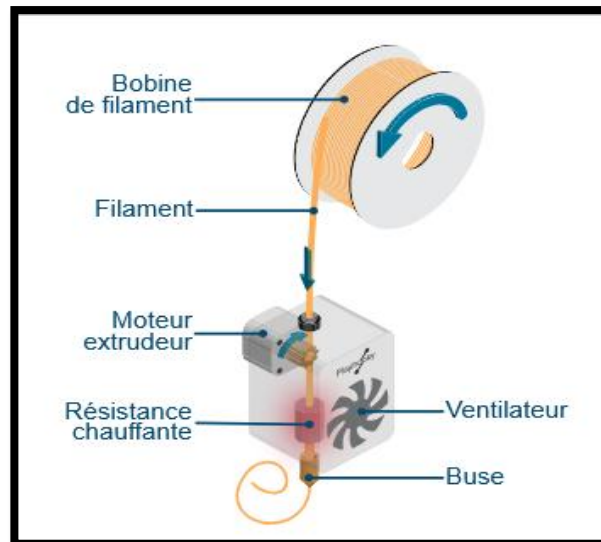


Figure 65. la structure d'une imprimante 3D [53]

### c) Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D

Le filament est chauffé et fondu dans la tête d'impression (aussi appelé extrudeur) de l'imprimante 3D puis ressort à travers une fine buse. L'extrudeur se déplace horizontalement selon deux axes (les axes X et Y) en même temps que la plateforme d'impression se déplace sur un axe vertical Z. L'imprimante 3D dépose le filament fondu par couches successives, les unes sur les autres, pour former l'objet en 3D. Lorsqu'une couche est complète, le plateau d'impression s'abaisse légèrement sur l'axe Z (vertical) et le processus d'extrusion reprend en déposant une nouvelle couche de filament fondu au-dessus de la première. Les couches ainsi créées sont fusionnées entre elles par le plastique qui se solidifie rapidement. L'empilement des couches de matière forme l'objet final. La précision et la qualité du résultat final dépendent entre autres de l'épaisseur de couche minimale offerte par l'imprimante 3D (plus les couches sont fines, plus la résolution est importante et le résultat précis) [54].

### d) Préparation de l'impression 3D

Avant de lancer l'impression des différentes pièces de notre prototype, une série d'étapes préparatoires ont été rigoureusement suivies afin de garantir la qualité de l'impression et d'éviter les défauts liés à l'adhérence ou à la température, notamment pour une imprimante non équipée d'un plateau chauffant. Voici les principales opérations effectuées :

- **Préparation du plateau d'impression :** Étant donné que le plateau de l'imprimante utilisée n'est pas chauffant, il était indispensable d'améliorer l'adhérence de la première couche. Pour

## Chapitre 03 : Conception et réalisation

cela, un ruban adhésif spécifique (type **masking tape**) a été soigneusement appliqué sur la surface du plateau afin d'éviter le décolllement ou le 'warping' des pièces.

- **Nivellement du plateau (bed leveling) :** Une vérification manuelle du niveau du plateau a été réalisée. Cette opération consiste à ajuster manuellement la distance entre la buse de l'extrudeur et le plateau d'impression pour assurer une épaisseur uniforme de la première couche. Un bon nivellement est crucial pour obtenir une base solide et régulière.
- **Préchauffage de l'extrudeur :** Avant de commencer l'impression, l'extrudeur a été préchauffé à une température adaptée au filament utilisé, en l'occurrence du PLA. La température a été réglée entre **200°C et 210°C**, ce qui garantit une extrusion fluide et une bonne fusion du matériau.
- **Surveillance du démarrage de l'impression :** Les premières couches de chaque impression ont été surveillées de près. Cette étape permet de détecter rapidement les éventuels défauts tels qu'un mauvais accrochage au plateau, une extrusion insuffisante ou encore un déplacement du filament. Une intervention rapide à ce stade permet d'éviter le gaspillage de matière et de temps.

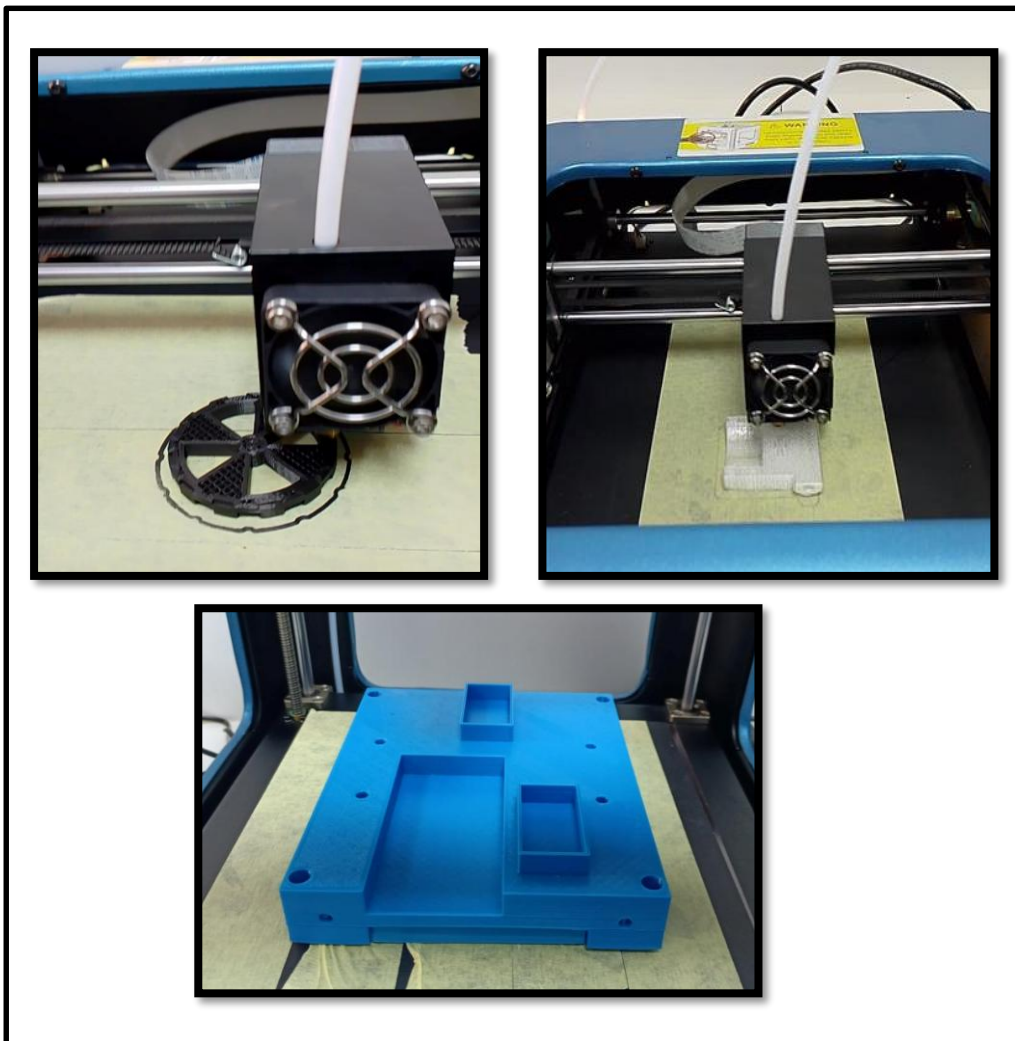


Figure 66 : Les différentes pièces à la phase d'impression

### III.4. Assemblage et test du prototype

Après avoir terminé la fabrication de toutes les pièces mécaniques et électroniques, nous sommes passés à l'étape de l'assemblage du prototype final au sein du châssis. Ce montage repose sur une structure compacte intégrant les composants essentiels au bon fonctionnement du système. La carte Arduino constitue le cœur de commande du prototype. Les moteurs à courant continu sont fixés solidement sur des bras de force pour assurer la stabilité et transmission du mouvement. Les roues sont directement reliées aux moteurs.

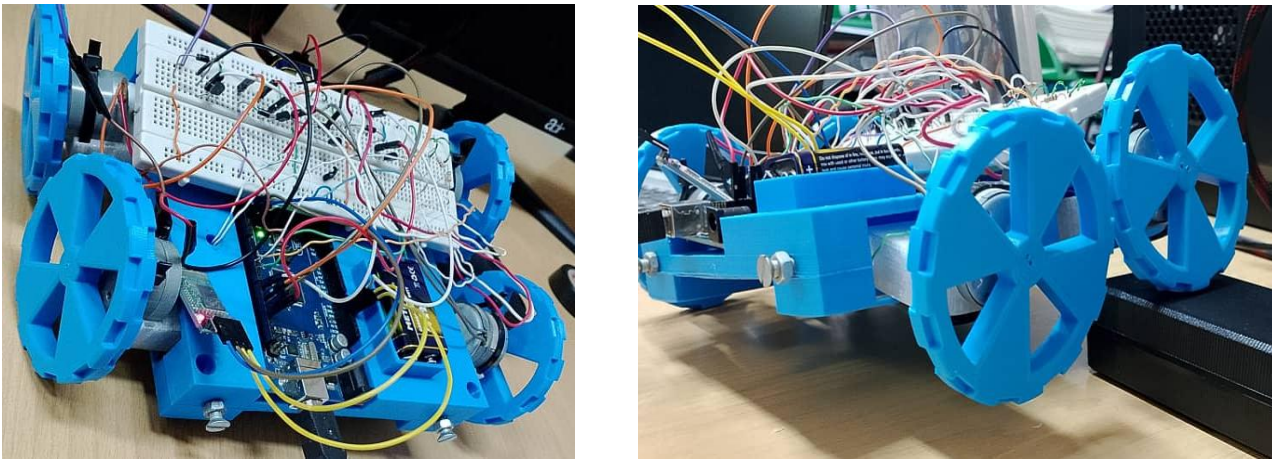


Figure 67 : Prototype final

### III.5. Conclusion

À l'issue de cette phase de conception et de réalisation, nous avons concrétisé l'ensemble des travaux précédents sous la forme d'un prototype fonctionnel et abouti. Après avoir validé le comportement théorique du système dans un environnement simulé, nous avons procédé à l'intégration des composants électroniques, à l'assemblage de la structure mécanique, ainsi qu'à la mise en service de l'application mobile permettant le contrôle à distance via Bluetooth.

Les tests réalisés sur le prototype ont confirmé la fiabilité du fonctionnement global du système, aussi bien en mode manuel qu'en mode automatique. Le sélecteur de motricité réagit de manière cohérente selon l'état des roues et les commandes envoyées depuis l'application. Cette réussite témoigne de la pertinence des choix techniques effectués tout au long du projet et marque une étape importante vers un système intelligent et adaptable pour les véhicules tout-terrain.

### Conclusion générale

Dans un contexte où les véhicules tout-terrain prennent une place croissante dans les domaines militaires, de l'exploration, du loisir et même de l'assistance en milieux difficiles ; la recherche de solutions intelligentes pour améliorer leur performance est devenue essentielle. Grâce à ce projet, nous avons pu répondre à une problématique concrète et cruciale pour les véhicules tout-terrain : améliorer la motricité de ces derniers en concevant un système électronique permettant la détection et la gestion de l'adhérence des roues du véhicule.

Un tel système, bien que perfectible et sujet à améliorations futures, réalise sa fonction principale, qui est la détection de la perte d'adhérence des roues et ce en relevant en temps réel l'état des roues, à savoir quelles roues sont en contact avec le sol et celles qui ne le sont pas. Ces informations transmises à l'utilisateur depuis la carte électronique Arduino vers une application Android, permettent à l'utilisateur d'avoir un visuel permanent sur l'état des roues, mais aussi de prendre le contrôle à distance, via un mode manuel sur l'application, de la répartition de la motricité pour se sortir d'une situation ou d'un terrain difficile.

Par ailleurs, en plus de la réalisation de la partie électronique du système, ce projet a été pour nous l'occasion de développer plusieurs compétences. Nous avons ainsi pu développer des compétences en création d'applications Android, en modélisation 3D et en impression 3D. Il s'agit donc d'un projet multidisciplinaire qui constitue pour nous une base solide pour de futurs projets personnels ou professionnels.

Les résultats et les tests de validation pratiques ont démontré le bon fonctionnement du système et sont de bon augure pour de futurs développements. A cet effet, comme perspectives et améliorations futures, nous proposons :

- Intégration des capteurs plus précis pour améliorer la détection des obstacles mais aussi la détection en temps réel du contact des roues avec le sol.
- Utilisation d'un seul moteur au lieu de quatre, tout en intégrant un différentiel permettant la répartition de la motricité vers les quatre roues.
- Optimisation de la conception mécanique afin d'augmenter la stabilité et la solidité sur divers types de terrains.
- Amélioration de l'interface de commande grâce à des applications mobiles plus sophistiquées.
- Envisager la transition vers un système réel, pouvant être intégré directement dans un véhicule tout-terrain opérationnel.

### Références

- [1] Zoé, «L'invention des voitures: Évolution à travers l'histoire,» Obscura, 18 mars 2022. [En ligne]. Available: <https://obscura.fr/histoire/l'invention-des-voitures-evolution-a-travers-l'histoire/>. [Accès le 15 mai 2025].
- [2] Techno-Science.net, «Histoire de l'automobile : définition et explications,» Techno-Science, 6 mai 2025. [En ligne]. Available: <https://www.techno-science.net/definition/13221.html>. [Accès le 15 mai 2025].
- [3] Timetoast, «The History of the Automobile,» Timetoast, s.d. s.d. s.d.. [En ligne]. Available: <https://www.timetoast.com/timelines/the-history-of-the-automobile-86530f1c-bc2d-4387-95fa-94ae338bad98>. [Accès le 2025 mai 15].
- [4] auto-motor.at Redaktion, «Siegfried Marcus : Fest zum 175. Geburtstag,» auto-motor.at, 17 septembre 2006. [En ligne]. Available: <https://auto-motor.at/Auto/Oldtimer/Siegfried-Marcus.html>. [Accès le 15 mai 2025].
- [5] RM Sotheby's, «1886 Benz Patent-Motorwagen Recreation | Amelia Island 2019,» RM Sotheby's, 9 mars 2019. [En ligne]. Available: <https://rmsothebys.com/auctions/am19/lots/r0064-1886-benz-patentmotorwagen-recreation/>. [Accès le 16 mai 2025].
- [6] Alamy, «Wilhelm Maybach – Photos et Images,» s.d. s.d. s.d.. [En ligne]. Available: <https://www.alamyimages.fr/photos-images/wilhelm-maybach.html?blackwhite=1&sortBy=relevant>. [Accès le 15 mai 2025].
- [7] LesAnciennes.com, «FORD Falcon Cabriolet - 1964,» LesAnciennes.com, 30 12 2024. [En ligne]. Available: <https://www.lesanciennes.com/annonce/ford-falcon-cabriolet-1964-a742083>. [Accès le 21 mai 2025].
- [8] FRPA, «Évolution de la sécurité des véhicules,» FRPA, 12 juin 2023. [En ligne]. Available: <https://www.frpa.fr/actualite/evolution-securite-vehicules>. [Accès le 15 mai 2025].
- [9] Auto Parts RS, «Comment fonctionne un airbag,» Auto Parts RS, 20 juin 2023. [En ligne]. Available: <https://autoparts-rs.com/fr/comment-fonctionne-un-airbag/>. [Accès le 15 mai 2025].
- [10] Hyundai, «Ceinture trois points,» hi20manuel.com, 2016. [En ligne]. Available: [https://www.hi20manuel.com/ceinture\\_trois\\_points-26.html](https://www.hi20manuel.com/ceinture_trois_points-26.html). [Accès le 21 mai 2025].
- [11] Autobutler, «ABS & ESP : fonctionnement et diagnostic,» Autobutler, [En ligne]. Available: <https://www.autobutler.fr/services/reparation-et-remplacement-freins/abs-esp-voiture>. [Accès le 16 mai 2025].

## Références

---

- [12] Camille, «Les technologies embarquées de la conduite,» Permisécole, 15 mai 2018. [En ligne].  
] Available: <https://www.permisecole.com/actualites/technologies-embarquees>. [Accès le 21 mai 2025].
- [13] Ministère de l'Éducation nationale (France), «Renfort Technologique – La classification des véhicules,» Éduscol (STI), [En ligne]. Available:  
] <https://sti.eduscol.education.fr/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/17023/17023-renfort-technologique-la-classification-des-vehicules-copie.pdf>. [Accès le 16 mai 2025].
- [14] Autohero, «Type de carrosserie de voiture : faire le bon choix,» Autohero, [En ligne]. Available:  
] <https://www.autohero.com/fr-be/conseil-achat/type-de-carrosserie/>. [Accès le 17 mai 2025].
- [15] 1001Pneus, «Berline : définition, avantages et historique,» 1001Pneus, [En ligne]. Available:  
] <https://www.1001pneus.fr/definition-berline>. [Accès le 17 mai 2025].
- [16] Automobile.tn, «Mercedes-Benz Classe A neuve,» Automobile.tn, [En ligne]. Available:  
] <https://www.automobile.tn/fr/neuf/mercedes-benz/classe-a>. [Accès le 17 mai 2025].
- [17] CapCar, « Break : Type de carrosserie,» CapCar, [En ligne]. Available: <https://www.capcar.fr/lexique-auto/break>. [Accès le 18 mai 2025].
- [18] Le Dauphiné Libéré, «Les breaks vont-ils totalement disparaître ?,» Le Dauphiné Libéré, 1 mars 2022.  
] [En ligne]. Available: <https://www.ledauphine.com/magazine-automobile/2022/03/01/les-breaks-vont-ils-totalement-disparaitre>. [Accès le 21 mai 2025].
- [19] PagesJaunes, «Coupé : définition, caractéristiques et prix,» PagesJaunes, [En ligne]. Available:  
] <https://achat-voiture.pagesjaunes.fr/comprendre/coupe>. [Accès le 18 mai 2025].
- [20] Cars & Bids, «2006 Audi TT Quattro Coupe,» Cars & Bids, 15 novembre 2022. [En ligne]. Available:  
] <https://carsandbids.com/auctions/rjP1gYRN/2006-audi-tt-quattro-coupe>. [Accès le 17 mai 2025].
- [21] Techno-Science.net, «Monospace : définition et explications,» Techno-Science.net, [En ligne].  
] Available: <https://www.techno-science.net/definition/1984.html>. [Accès le 18 mai 2025].
- [22] G. Bardou, «Renault Grand Scénic : les premières photos et infos sur la version 5 et 7 places du Scénic 4,» Linternaute.com, 24 mai 2016. [En ligne]. Available:  
] <https://www.linternaute.com/auto/monospace/1307569-renault-grand-scenic-les-premieres-photos-et-infos-sur-la-version-5-et-7-places-du-scenic-4/>. [Accès le 17 mai 2025].
- [23] Techno-Science.net, «Cabriolet : définition et explications,» Techno-Science.net, 12 avril 2025. [En ligne]. Available: <https://www.techno-science.net/definition/1943.html>. [Accès le 18 mai 2025].
- [24] Mitsubishi Motors South Africa, «What is an SUV? Meaning, Features, and Benefits,» Mitsubishi Motors South Africa, 7 juillet 2024. [En ligne]. Available: <https://www.mitsubishi-motors.co.za/suv-meaning-features-and-benefits>. [Accès le 18 mai 2025].

## Références

---

- [25 Turbo.fr, «Fiche technique du Peugeot 3008 : caractéristiques, motorisations, finitions, prix,» Turbo.fr, [En ligne]. Available: <https://www.turbo.fr/peugeot/3008/fiche-vehicule/fiche-technique-du-peugeot-3008-caracteristiques-motorisations-finitions-prix-146877>. [Accès le 18 mai 2025].
- [26 Dimensions.com, « Off-Road Vehicles,» [En ligne]. Available: <https://www.dimensions.com/collection/off-road-vehicles>. [Accès le 19 mai 2025].
- [27 Planète-Auto.fr, «Crossover, SUV et 4x4 : définitions, différences, avantages et inconvénients,» Planète-Auto.fr, 24 septembre 2024. [En ligne]. Available: <https://www.planete-auto.fr/crossover-suv-et-4x4-definITIONS-differences-avantages-et-inconvenients/>. [Accès le 19 mai 2025].
- [28 mpower® Silicone Lighting, «What's In A Terrain? Breaking Down Common Off-Roading Terrain,» mpowerlights.com, 23 2 2024. [En ligne]. Available: <https://mpowerlights.com/whats-in-a-terrain-breaking-down-common-off-roading-terrain/>. [Accès le 20 mai 2025].
- [29 C. Racine, «4 Terrain Types for Off-Roading,» Rough Country, 16 12 2022. [En ligne]. Available: <https://www.roughcountry.com/blog/terrain-types-for-off-roading>. [Accès le 20 5 2025].
- [30 Le Dauphiné Libéré, «Les breaks vont-ils totalement disparaître ?,» Le Dauphiné Libéré, 1 mars 2022. [En ligne]. Available: <https://www.ledauphine.com/magazine-automobile/2022/03/01/les-breaks-vont-ils-totalement-disparaitre>. [Accès le 21 mai 2025].
- [31 Jeep Canada, «Fonctionnalités de sécurité – Jeep Wrangler 2024,» Jeep Canada, 1 mars 2024. [En ligne]. Available: <https://www.jeep.ca/fr/wrangler/2024/fonctionnalites-securite>. [Accès le 21 mai 2025].
- [32 Extreme4x4.be, «Conseils de conduite tout-terrain pour les débutants,» Extreme4x4.be, 1 mars 2022. [En ligne]. Available: <https://www.extreme4x4.be/conduite-tout-terrain-debutants/>. [Accès le 21 mai 2025].
- [33 L. F. IABBADEN Zinedine, *Réalisation d'un module de distribution d'énergie à base d'une carte Arduino*, TIZI OUZOU: Département d'Électronique, Faculté du Génie Électrique et Informatique, 2017.
- [34 Arduino.cc, «Arduino Mega 2560 Rev3,» Arduino.cc, [En ligne]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. [Accès le 22 mai 2025].
- [35 cfaury, «Contrôle d'un moteur CC,» Arduino – Blaise Pascal, 12 mai 2017. [En ligne]. Available: <https://arduino.blaisepascal.fr/controle-dun-moteur-cc/>. [Accès le 21 mai 2025].
- [36 eBay, «DC 6V 9V 12V 530 Motor EG-530AD-2B/2F 2400rpm CCW/CW DC Motor For DIY Parts,» eBay, 28 avril 2025. [En ligne]. Available: <https://www.ebay.com/itm/175857665883>. [Accès le 22 mai 2025].
- [37 Robolink Market, «2N2222 NPN Transistör,» Robolink Market, [En ligne]. Available: <https://roboLinkmarket.com/2n2222-npn-transistor>. [Accès le 22 mai 2025].

## Références

---

- [38] Robolink Market, «2N2222 NPN Transistör,» Robolink Market, [En ligne]. Available: <https://roboLinkmarket.com/2n2222-npn-transistor>. [Accès le 22 mai 2025].
- [39] Positron-libre, «La diode L.E.D. : cours et principe de fonctionnement,» Positron-libre, [En ligne]. Available: <https://www.positron-libre.com/cours/electronique/diode/led/led.php>. [Accès le 22 mai 2025].
- [40] K. Draif, «Comment utiliser un bouton poussoir avec Arduino,» Moussasoft, 15 février 2023. [En ligne]. Available: <https://www.moussasoft.com/bouton-poussoir-arduino/>. [Accès le 22 mai 2025].
- [41] Amazon Belgique, «JZK Lot de 50 mini interrupteurs à bouton-poussoir 4 broches 12 mm,» Amazon Belgique, [En ligne]. Available: <https://www.amazon.com.be/JZK-interrupteurs-bouton-poussoir-broches-montage/dp/BOCP2DMNMQ>. [Accès le 22 mai 2025].
- [42] Botland, «Bluetooth module HC-05,» Botland, [En ligne]. Available: <https://botland.store/bluetooth-modules/2570-bluetooth-module-hc-05-5903351241311.html>. [Accès le 22 mai 2025].
- [43] Moussasoft, «Modules HC-05 et HC-06 avec Arduino,» Moussasoft, 20 11 2020. [En ligne]. Available: <https://www.moussasoft.com/modules-hc-05-et-hc-06-avec-arduino/>. [Accès le 22 mai 2025].
- [44] Elektronique.fr, «Proteus,» Elektronique.fr, [En ligne]. Available: <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>. [Accès le 22 mai 2025].
- [45] ResearchGate, «Interface du logiciel ISIS Proteus,» ResearchGate, 2022. [En ligne]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/nterface-du-logiciel-ISIS-Proteus\\_fig14\\_361184747](https://www.researchgate.net/figure/nterface-du-logiciel-ISIS-Proteus_fig14_361184747). [Accès le 22 mai 2025].
- [46] NitraThor, «IDE Arduino,» NitraThor, 2024. [En ligne]. Available: <https://www.nitrathor.fr/fiches/ide-arduino>. [Accès le 5 avril 2025].
- [47] Lycée Blaise Pascal, «Le programme – Arduino : l'essentiel,» Lycée Blaise Pascal, [En ligne]. Available: <https://arduino.blaisepascal.fr/le-programme/>. [Accès le 3 avril 2025].
- [48] On va essayer.org, «Présentation d'App Inventor,» On va essayer.org, [En ligne]. Available: <https://onvaessayer.org/vaucanson/41-appinventorIntro/1-PresAppInventor.php>. [Accès le 3 avril 2025].
- [49] Robotique Tech, «Cahier d'activités pour le module App Inventor,» Robotique Tech, 30 9 2022. [En ligne]. Available: <https://www.robotique.tech/tutoriel/cahier-dactivites-pour-le-module-app-inventor/>. [Accès le 2 avril 2025].
- [50] On va essayer.org, «Connecter son téléphone ou sa tablette en WiFi,» On va essayer.org, 2 2017. [En ligne]. Available: <https://onvaessayer.org/appinventor/appinventor.mit.edu/explore/ai2/setup-device-wifi.html>. [Accès le 6 4 2025].

## Références

---

- [51] MatProp, «Autodesk Inventor – Tout ce que vous devez savoir,» MatProp, 15 7 2024. [En ligne]. [Accès le 20 4 2025].
- [52] Antoine, «Guide complet des imprimantes 3D en 2025,» Daily Geek Show, 31 12 2024. [En ligne]. Available: <https://dailygeekshow.com/guide-complet-imprimantes-3d/>. [Accès le 6 avril 2025].
- [53] Nathan, «Comment fonctionne une imprimante 3D ?,» Playhooky.fr, 12 4 2022. [En ligne]. Available: <https://www.playhooky.fr/focus/imprimante-3d/>. [Accès le 6 avril 2025].
- [54] Aniwaa, «Les technologies d'impression 3D,» Aniwaa, 5 8 2021. [En ligne]. Available: <https://www.aniwaa.com/fr/guide/imprimantes-3d/les-technologies-dimpression-3d/>. [Accès le 7 avril 2025].
- [55] Carpedia.Club, «Ceintures de sécurité et bonne position assise,» Carpedia.Club, [En ligne]. Available: <https://carpedia.club/fr/Remni-bezopasnosti-i-pravilnoe-polozhenie-sidenii>. [Accès le 16 mai 2025].
- [56] Hyman Ltd, «1913 Ford Model T Roadster,» [En ligne]. Available: <https://hymanltd.com/vehicules/5493-1913-ford-model-t-roadster/>. [Accès le 2025 mai 21].
- [57] Classic Auto Mall, «1930 Ford Model A Sport Coupe,» Classic Auto Mall, [En ligne]. Available: <https://www.classicautomall.com/vehicules/6520/1930-ford-model-a-sport-coupe>. [Accès le 2025 mai 21].
- [58] Auto Barn Classic Cars, «1940 Ford Deluxe,» [En ligne]. Available: <https://www.autobarnclassiccars.com/vehicules/1115/1940-ford-deluxe>. [Accès le 2025 mai 21].
- [59] The Orange County Register, «My Totally Hot Car: 1950 Ford Two-Door Sedan,» The Orange County Register, 2 11 2011. [En ligne]. Available: <https://www.ocregister.com/2011/11/02/my-totally-hot-car-1950-ford-two-door-sedan/amp/>. [Accès le 21 mai 2025].
- [60] Domotics.fr, «Les différentes cartes Arduino,» Domotics.fr, 25 2 2019. [En ligne]. Available: <https://domotics.fr/index.php/2019/02/25/les-differentes-cartes-arduino/>. [Accès le 22 mai 2025].
- [61] FMUSER, «Différents types de cartes Arduino et leurs utilisations,» FMUSER, 18 octobre 2021. [En ligne]. Available: <https://fr.fmuser.net/wap/content/?12409.html>. [Accès le 22 mai 2025].
- [62] Powertech-dz.net, «Arduino DUE,» Powertech-dz.net, [En ligne]. Available: <https://powertech-dz.net/products/single/arduino-due-vente-composants-electronique-blida-algerie-13>. [Accès le 22 mai 2025].