



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DE MOULOU MAMMERI TIZI-OUZOU



*FACULTE DE génie de la construction*  
*DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE*

### **Mémoire de fin d'étude**

En vue de l'obtention du diplôme de master II en électromécanique  
Spécialité : Maintenance Industrielle

### **Thème**

---

## CONCEPTION ET FABRICATION D'UN E-KART

---

#### **Réalisé par :**

Mr. OULD AMARA Nabil  
Mr. SI SALAH Mohamed Salim  
Mr. OURIACHI Massinissa

M C B, UMMTO, PRESIDENT  
Mr. BELGAID.H

M C B, UMMTO, EXAMINATEUR  
Mr. YAMANI.N

#### **Encadré par :**

M. SI AHMED.H

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020/2021



# Remerciements

Nos premiers mots de remerciement s'adressent d'abord à nos parents et nos amis qui ont toujours été là pour nous encourager tout au long de la préparation de ce mémoire.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde reconnaissance à **M. SI AHMED.H**, notre encadreur pour avoir accepté de diriger notre travail et aussi pour ses conseils et ses encouragements le long de cette période de préparation du mémoire.

Nous remercions aussi les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Il y a tellement de gens à qui nous devons des remerciements pour leur support. Il nous est vraiment difficile de pouvoir citer intégralement tout le monde. Ainsi, nous remercions tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont aidé tout au long de ces années universitaires.

## **Dédicace**

Il m'est agréable de saisir cette occasion pour dédier ce travail à :

**Mes grands-parents** : Je vous dédie ce mémoire en témoignage de gratitude d'estime et d'attachement.

**A mon père et ma mère** : aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte. Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de long mois de distance de votre amour de votre tendresse, de longs jours d'apprentissage.

**A mes frères et mes sœurs et toute la famille et à tous mes amis.**

**Mohamed-Salim SI SALAH**

## **Dédicace :**

Je dédie ce travail à mes chers parents qui ont toujours été là pour moi, pour m'avoir soutenu de toutes les façons possible et ce depuis ma naissance.

**A mes chers frères :** Jugurtha et Ghiles

**A mon adorable sœur :** Thafsuth, ainsi qu'à son mari Rabea.

**A mes chers amis :** Fares, Moh, Sadek, Nabil, Salim.

**A toute personne qui me porte dans son cœur, qui a cru en moi et qui m'a soutenu de loin et de près.**

**Massinissa OURIACHI**

## Dédicace :

Je dédie ce précieux travail aux êtres les plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est de vous dont je parle très chers parents.

A mes frères et toute ma famille sans exception.

A tous mes amis qui m'ont toujours soutenu, et tous mes amis de la Promotion.

Sans oublier mes collègue du mémoire **OURIACHI Massinisa** et **SI-SALAH Med-Salim** avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude.

En fin à tous ceux qui m'apprécient à ma juste valeur.

**Nabil OULD AMARA**

---

## Liste des abréviations

CFAO	conception et fabrication assistées par ordinateur
ATC90	All-Terrain Cycle 90
MLI	modulation des largeurs d'impulsion
CO2	Dioxyde de carbone ;
EVSE	Station de recharge (Electric Vehicle Service Equipment) ;
AISI	American Iron and Steel Institute
DC	Courant continu (Direct current) ;
AC	Courant alternatif (alternative current) ;
Fcem	Force électromotrice
PWM	(Pulse Width Modulation) ou modulation de largeur d'impulsions 'MLI' ;
Cd-rom	disque compact à mémoire morte (compact disc read only memory) ;
CAO	Conception Assistée par Ordinateur ;
3D	trois dimensions ;
2D	deux dimensions ;
ESC	Contrôleurs de vitesse électroniques (Electronic Speed Controller) ;
BLDC	<b>B</b> rush <b>L</b> ess Direct current ;
Li-Po	Lithium-ion ;

---

## Liste des symboles

T	le temps
F	la force
m	la masse
a	l'accélération
Syt	Limite d'élasticité
Smax	Contrainte maximale

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1 :</b> les différents moteurs par rapport aux critères importants demandés par l'automobile..	7
<b>Tableau II.1 :</b> Propriétés des matériaux.....	21
<b>Tableau II.3 :</b> Résultats.....	35
<b>Tableau III.1 :</b> Les broches PWM dans quelque microcontrôleur .....	40
<b>Tableau IV.1 :</b> Tableau des prix de chaque pièce.....	82
<b>Tableau IV.2 :</b> Tableau du cout d'usinage des pièces .....	82

---

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Histoire des véhicules électriques. ....	4
<b>Figure I.2</b> : Histoire des véhicules électriques. ....	5
<b>Figure I.3</b> : Représentation d'un véhicule électrique .....	6
<b>Figure I.4</b> : les composant d'un alternateur.....	8
<b>Figure I.5</b> :différentes phases de redressement.....	10
<b>Figure I.6</b> : fonctionnement d'un moteur brushless.....	11
<b>Figure I.7</b> :Rotor et stator d'un moteur brushlessoutrunner.....	13
<b>Figure I.8</b> : Moteurs brushless inrunner.....	14
<b>Figure II.1</b> : Organigramme décrivant la méthodologie.....	18
<b>Figure II.2</b> : Modèle CAO 3D du cadre du châssis d'un E-kart.....	19
<b>Figure II.3</b> : Modèle CAO 3D du châssis d'un E-kart montrant ses deux parties... ..	19
<b>Figure II.4</b> : Charges statiques sur le châssis.....	21
<b>Figure II.5</b> : Maillage du cadre.....	22
<b>Figure II.6</b> : Conditions de chargement.....	22
<b>Figure II.7</b> : Résultats.....	23
<b>Figure II.8</b> : Maillage sur le châssis.....	24
<b>Figure II.9</b> : Chargement sur le châssis.....	25
<b>Figure II.10</b> : Contrainte de Von Messes.....	25
<b>Figure II.11</b> : Déplacement résultant.....	26
<b>Figure II.12</b> : Contrainte équivalente.....	26
<b>Figure II.13</b> : Chargement en cas d'impact latéral.....	28
<b>Figure II.14</b> : Contrainte de Von Messes.....	28
<b>Figure II.15</b> : Déplacement résultant.....	29
<b>Figure II.16</b> : Contrainte équivalente.....	29
<b>Figure II.17</b> : Maillage sur le châssis.....	30
<b>Figure II.18</b> : Chargement sur le châssis.....	31
<b>Figure II.19</b> : Contrainte de Von Messes.....	32
<b>Figure II.20</b> : déplacement résultant.....	32
<b>Figure II.21</b> : Contrainte équivalente.....	33
<b>Figure III.1</b> : ATMega328 .....	35
<b>Figure III.2</b> : Microcontrôleur ATMega328.....	36
<b>Figure III.3</b> : potentiomètre à glissière.....	37

---

<b>Figure III.4 :</b> Oscillateur à quartz.....	37
<b>Figure III.5 :</b> interrupteur poussoir .....	38
<b>Figure III.6 :</b> ESC 30 A.....	39
<b>Figure III.7 :</b> Les ports sorties PWM dans ATmega328.....	40
<b>Figure III.8 :</b> Le rapport cyclique.....	41
<b>Figure III.9 :</b> schéma électronique de la carte comportant un ATmega328 et l'ESC.....	42
<b>Figure III.10 :</b> le program intègre dans le microcontrôleur ATmega 328.....	42
<b>Figure IV.1 :</b> type de métal utilisé. ....	45
<b>Figure IV.2 :</b> Construction de la base du châssis. ....	46
<b>Figure IV.3 :</b> Assemblage de la traverse avec l'avant du châssis. ....	46
<b>Figure IV.4 :</b> Partie arrière du châssis. ....	46
<b>Figure IV.5 :</b> Les pommelles permettant au châssis de se plier. ....	47
<b>Figure IV.6 :</b> assemblage des deux parties du châssis avec les pommelles. ....	47
<b>Figure IV.7 :</b> Usinage des bagues des roues arrière. ....	48
<b>Figure IV.8 :</b> Accordage des bagues au châssis arrière. ....	48
<b>Figure IV.9 :</b> Les fourches avant traversées par l'axe. ....	48
<b>Figure IV.10 :</b> Assemblage des fourches avec le châssis. ....	49
<b>Figure IV.11:</b> les bagues cylindriques. ....	49
<b>Figure IV.12:</b> assemblage des axes avec les bagues.....	49
<b>Figure IV.13 :</b> amortisseurs avant. ....	50
<b>Figure IV.14 :</b> système d'amortissement avant. ....	50
<b>Figure IV.15 :</b> Amortisseur arrière. ....	51
<b>Figure IV.16 :</b> support amortisseur arrière Coté bas. ....	51
<b>Figure IV.17 :</b> support amortisseur arrière coté haut. ....	51
<b>Figure IV.18 :</b> système d'amortissement arrière. ....	52
<b>Figure IV.19 :</b> Aperçu sur la fixation d'une des deux roues avant. ....	52
<b>Figure IV.20 :</b> aperçu sur la fixation d'une des deux roues arrière. ....	53
<b>Figure IV.21 :</b> Aperçu sur l'axe de la roue arrière traversant la bague. ....	53
<b>Figure IV.22 :</b> les roulements adaptés aux roues. ....	54
<b>Figure. IV.23 :</b> association, roue, roulement et axe. ....	54
<b>Figure IV.24 :</b> les composants du système de freinage. ....	55
<b>Figure IV.25 :</b> montage de la pompe de freinage et récipient liquide. ....	56
<b>Figure IV.26:</b> Support colonne direction.....	57
<b>Figure IV.27:</b> Aperçu sur les tubes cylindrique.....	57

---

---

<b>Figure IV.28:</b> Vue sue le taraudage des bras de force.....	57
<b>Figure IV.29:</b> Boulons à œil. ....	57
<b>Figure IV.30 :</b> Aperçu du bras de force associé a la bague cylindrique. ....	57
<b>Figure IV.31 :</b> Aperçu sur l'assemblage des deux bras de force à la colonne de direction...	58
<b>Figure IV.32 :</b> L'architecture permettant d'intégrer les suspensions.....	58
<b>Figure IV.33 :</b> Aperçu sur les supports moteur. ....	58
<b>Figure IV. 34 :</b> couronne. ....	59
<b>Figure IV. 35 :</b> pignon. ....	59
<b>Figure IV. 36 :</b> chaîne. ....	59
<b>Figure IV. 37 :</b> sur chauffage du pignon a l'aide d'un chalumeau. ....	59
<b>Figure IV. 38 :</b> assemblage moteur + pignon. ....	60
<b>Figure IV. 39 :</b> assemblage de la couronne a la roue.....	60
<b>Figure IV.40 :</b> habitacle du véhicule. ....	61
<b>Figure IV.41 :</b> Fixation du siège sur le châssis aux deux supports. ....	61
<b>Figure IV.42 :</b> Dispositions du siège sur le châssis. ....	62
<b>Figure IV.43 :</b> volant. ....	62
<b>Figure IV.44 :</b> Support volant, colonne de direction. ....	63
<b>Figure IV.45:</b> Support du volant.....	63
<b>Figure IV.46:</b> supporte du volant associé a la colonne de direction.....	64
<b>Figure IV.47 :</b> application de l'antirouille sur le châssis. ....	64
<b>Figure IV.48 :</b> applications des différentes teintes de peinture. ....	65
<b>Figure IV.49:</b> vue d'ensemble sur le résultat final de l'application de la peinture.....	65
<b>Figure IV.50 :</b> Matériaux de composition de la calandre.....	66
<b>Figure IV.51 :</b> Résultat de la calandre après soudage. ....	66
<b>Figure IV.52 :</b> Procédé de fabrication du capot. ....	67
<b>Figure IV.53 :</b> papier Carbonne utilisé pour le capot. ....	67
<b>Figure IV.54 :</b> Résultat final du capot après application du film et du cache joint.....	68
<b>Figure IV.55 :</b> Modélisation de l'insigne. ....	68
<b>Figure IV.56 :</b> Résultat de l'insigne après modélisation. ....	68
<b>Figure IV.57 :</b> Moquette pour sol d'habitacle. ....	69
<b>Figure IV.58 :</b> Boite comportant la manette de commande. ....	69
<b>Figure IV.59 :</b> Manette de commande. ....	70
<b>Figure IV.60 :</b> Feux avant (LED). ....	70
<b>Figure IV.61 :</b> alternateur Renault 14V 50-110A.....	71

---

---

<b>Figure IV.62</b> : Les composant a modifier de l'alternateur .....	71
<b>Figure IV.63</b> : Alternateur modifier en moteur .....	71
<b>Figure IV.64</b> : Potentiomètre a glissière. ....	72
<b>Figure IV.65</b> : ESC 30 A.....	72
<b>Figure IV.66</b> : ventilateur 5V.....	73
<b>Figure IV.67</b> : Carte de commande.....	73
<b>Figure IV.68</b> : Batterie 12V.....	74
<b>Figure IV.69</b> : Batterie 6V.....	74
<b>Figure IV.70</b> : Branchement de la carte de commande.....	74
<b>Figure IV.71</b> : Les boutons de commande.....	75
<b>Figure IV.72</b> : Fixation du ventilateur sous l'ESC.....	75
<b>Figure IV.73</b> : L'assemblage dans la Manette de commande. ....	76
<b>Figure IV.74</b> : Aperçu sur l'ensemble du véhicule. ....	77
<b>Figure IV.75</b> : diagramme de gantt.....	73

---

## Résumé

Un kart est un petit véhicule à quatre roues spécifiquement conçu pour être utilisé sur les pistes, il est généralement utilisé pour apprendre à conduire dans un environnement sans danger.

Ce projet vise à simuler, réaliser l'analyse statique et dynamique et à fabriquer un E-Kart qui soit solide, léger et durable. Les simulations sont réalisées à l'aide d'un logiciel de CFAO, à savoir SOLIDWORKS et ANSYS. La déflexion maximale est déterminée en effectuant une analyse statique pour s'assurer de la solidité du châssis.

Le châssis est conçu de telle sorte qu'il nécessite moins de matériaux et qu'il soit suffisamment solide pour résister aux différents impacts qu'il subit. La solidité et la légèreté ont été notre principal critère lors de la conception du châssis du E-kart. Par conséquent, l'AISI1010 a été sélectionné comme matériau approprié pour la conception.

La fabrication du châssis a été effectuée en suivant le modèle 3D réalisé après avoir fait toutes les simulations et les études nécessaires.

Pour la motorisation et la commande du E-Kart, nous avons utilisé les programmes ISIS PROTEUS et Micro C puis nous avons opté pour l'utilisation d'un microcontrôleur ATMEGA328 et un ESC pour pouvoir commander le moteur avec la PWM.

**Mots-clés :** kart électrique, Analyse par éléments finis, Conception, SolidWorks, ANSYS.

## Abstract :

A go-kart is a small four-wheeled vehicle specifically designed to be used on tracks, it is generally used to learn to drive in a safe environment.

This project aims to simulate, perform static and dynamic analysis and manufacture an E-kart that is strong, light and durable. The simulations are carried out using CFAO software, namely SOLIDWORKS and ANSYS. The maximum deflection is determined by performing a static analysis and ensuring the safety of the chassis.

The chassis is designed so that it requires less material and is strong enough to withstand the various impacts it experiences. Strength and lightness were our main considerations when designing the E-kart chassis. Therefore, AISI1010 was selected as the appropriate material for the design.

The fabrication of the chassis has been started following the 3D model that we have realized after having done all the necessary simulations and studies.

For the motorization and control of the E-Kart we used ISIS PROTIUS and Micro C programs and we opted to use an ATmega328 microcontroller and an ESC to control the motor with PWM.

**Keywords:** electric kart, finite element analysis, design, SolidWorks, ANSYS.

---

# Table des matières

Liste des abréviations .....	I
Liste des symboles .....	II
Liste des tableaux.....	III
Liste des figures.....	IV
Résumé.....	V
Introduction générale.....	A

## Chapitre I : généralités sur les véhicules électriques

I.1. Introduction aux véhicules électriques .....	4
I.1.1. Introduction .....	4
I.1.2. Historique.....	4
I.2. Les avantages des véhicules électriques .....	5
I.3. Représentation d'un véhicule électrique.....	6
I.4. Les moteurs électrique utilisé dans les véhicules électriques .....	6
I.4.1. introduction.....	6
I.4.2. Les différent type de moteur électriques utilisé .....	7
I.5. Introduction a l'alternateur .....	7
I.5.1. Composition d'un alternateur .....	8
I.5.1.1. Le rotor .....	8
I.5.1.2. Balais / Charbons .....	8
I.5.1.3. Stator .....	8
I.5.1.4. Régulateur de tension .....	9
I.5.1.5. Pont de diodes .....	9
I.5.2. Fonctionnement d'un alternateur .....	9
I.6. Comment modifier un alternateur en moteur .....	10
I.7. Les moteur brushless .....	11
I.7.1. Introduction .....	11
I.7.1.1. Composition du moteur brushless .....	11
I.7.1.2. Fonctionnement du moteur brushless simple .....	11
I.7.2. Commande des moteurs brushless .....	11
I.7.2.1. Moteur brushless en régime établi .....	11
I.7.2.2. Démarrage d'un moteur brushless .....	12
I.7.2.3. Principe de commutation des moteurs brushless .....	12
I.7.2.3.1. Moteurs brushless à Capteurs à effet hall .....	12
I.7.2.3.2. Moteurs brushless à régulation basée sur la fcm .....	12
I.7.2.4. Régulation de vitesse d'un moteur brushless .....	13
I.7.3. Les différents types de moteurs brushless .....	13
I.7.3.1. Moteurs brushless outrunner .....	13
I.7.3.2. Moteurs brushless inrunner.....	14
I.7.3.3. Moteurs brushless disques .....	15
I.8. Conclusion.....	15

## **Chapitre II : conception et analyse du châssis**

II.1. Introduction.....	17
II.2. Objectifs de conception .....	17
II.3. Aperçu du projet.....	18
II.3.1. Conception du châssis.....	18
II.3.2. Les contraintes relatives à la conception .....	18
II.4. Méthodologie.....	18
II.5. SÉLECTION DU MATÉRIAU .....	19
II.6. CALCULS ANALYTIQUES .....	20
II.6.1. Conception du châssis .....	20
II.6.2. Analyse du châssis en charge statique.....	20
II.6.2.1. Analyse par éléments finis.....	21
II.6.2.2. Maillage.....	22
II.6.2.3. Chargement.....	22
II.6.2.4. Résultats de l'analyse statique.....	23
II.6.2.5 : conclusion .....	23
II.6.3. Analyse du châssis en dynamique.....	23
II.6.3.1. Analyse de l'impact frontal.....	24
II.6.3.1.1 Calcul de la charge d'impact.....	24
II.6.3.1.2. Maillage.....	24
II.6.3.1.3. Chargement.....	25
II.6.3.1.4. Résultats de l'étude.....	25
II.6.3.1.5. Analyse du châssis en dynamique.....	27
II.6.3.2. Analyse de l'impact latéral.....	27
II.6.3.2.1. Calcul de la charge d'impact.....	27
II.6.3.2.2. Chargement et contrainte.....	27
II.6.3.2.3. Résultats de l'étude.....	28
II.6.3.2.4. Analyse du châssis en dynamique.....	30
II.6.3.3. Analyse de l'impact sur l'arrière.....	30
II.6.3.3.1. Maillage.....	30
II.6.3.3.2. Calcul de la charge d'impact.....	30
II.6.3.3.3. Chargement.....	31
II.6.3.3.4. Résultats de l'étude.....	32
II.6.3.3.5. Analyse du châssis en dynamique.....	33
II.6.5. Résultats et discussion .....	33
II.7. Conclusion .....	34

## **Chapitre III : Commande Du E-Kart**

III.1. Introduction .....	35
III.2. Les composants électriques.....	35

III.2.1. Le Microcontrôleur ATmega328 .....	35
III.2.2. Potentiomètre.....	37
III.2.3. Oscillateur à quartz .....	37
III.2.4. interrupteur poussoir .....	38
III.2.5. Contrôleurs de vitesse électroniques (ESC) .....	38
III.2.5.1. Les caractéristiques.....	38
III.3. Commande d'un moteur bldc avec la PWM .....	39
III.3.1. Le signal PWM (modulation width pulse) .....	39
III.3.2. Le principe de la PWM .....	39
III.3.3 Les pôles de la PWM dans Le microcontrôleur ATmega328 :.....	39
III.3.4. Les Avantages de la PWM .....	40
III.3.5. Le rapport cyclique .....	40
III.3.6. Différents cas possible du rapport cyclique .....	41
III.4. Calibrage et Commande .....	42
III.4.1. Schéma électronique.....	42
III.4.2. Description du fonctionnement.....	42
III.5. Conclusion.....	43

## **Chapitre IV : Fabrication du e-kart**

IV.1. Introduction .....	45
IV .2. Partie mécanique.....	45
IV.2.1. Le châssis .....	45
IV.2.1.1. Choix du matérielle .....	45
IV.2.1.2. Partie avant .....	46
IV.2.1.3. Partie arrière .....	46
IV.2.1.4. Assemblage des deux parties .....	47
IV.2.2. Emplacement des roues .....	47
IV.2.2.1. Roue arrière .....	47
IV.2.2.2. Roue avant .....	48
IV.2.2.2.1. fourche .....	48
IV.2.2.2.2. Les bagues .....	49
IV.2.3. Suspension .....	50
IV.2.3.1. Suspension avant.....	50
IV.2.3.2. Suspension arrière .....	51
IV.2.4 Fixation des roues .....	52
IV.2.4.1. Roues avant .....	52
IV.2.4.2. Roues arrière .....	53
IV.2.4.2.1. Les roulements.....	54
IV.2.5. Freinage .....	55
IV.2.5.1. Montage .....	56
IV.2.6. Crémaillère .....	56
IV.2.6.1. Montage .....	57

IV.2.7. Architecture .....	58
IV.2.8. La fixation du moteur.....	58
IV.2.9. La transmission .....	59
IV.2.9.1 : Assemblage pignon et moteur.....	59
IV.2.10. L'habitacle .....	61
IV.2.11. Le siege .....	61
IV.2.12. Le volant .....	62
IV.2.13. FINITION ET ESTHETIQUE.....	64
IV.2.13.1. Choix de peinture .....	64
IV.2.13.2. La Calandre.....	66
IV.2.13.3. Le Capot.....	66
IV.2.13.4.L'insigne.....	68
IV.2.13.5. La Moquette.....	69
IV.2.13.6. La manette de bord.....	69
IV.2.13.7. Les feux .....	70
IV.3. partie électrique.....	71
IV.3.1. Le moteur DC.....	71
IV.3.2. La pédale d'accélérateur .....	72
IV.3.3. Contrôleurs de vitesse électronique (ESC).....	72
IV.3.4. Le ventilateur : .....	73
IV.3.5. La carte électronique : .....	73
IV.3.6. Les batteries.....	74
IV.4. Le branchement.....	74
IV.5. Conclusion.....	77

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>79</b>
---------------------------------	-----------

## **Diagramme de gantt**

## **Budget du projet**

## **Bibliographie**

## **Annexe**

# **Introduction générale**

Au cours du dernier siècle, La société de véhicules moteurs est devenue dépendante de l'automobile. Leur nombre ne cesse d'augmenter et des milliards de litres d'essence et de diesel sont consommés, et cela participe avec un pourcentage important et conséquent dans l'émission de gaz à effet de serre et la pollution urbaine, représentant un risque majeur pour les années à venir. De nombreuses alternatives ont été considérées et étudiées afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur automobile, parmi ces alternatives l'électrification et hybridation des groupes motopropulseurs.

L'électrification du groupe motopropulseur permet d'augmenter son rendement global, car les systèmes électriques sont beaucoup plus efficaces que les moteurs à combustion interne. Une chaîne cinématique purement électrique n'est limitée que par les capacités de stockage d'énergie.

Les automobiles sont principalement utilisées pour les déplacements sur route. Mais un nouveau segment de petits véhicules, qui est le véhicule tout-terrain, a fait son apparition. Le premier véhicule tout-terrain commercial était l'ATC90 introduit par la Honda Motor Company en 1970 [1]. Ce véhicule était au départ un simple véhicule à 3 roues avec un petit moteur à combustion interne, destiné à être utilisé à des fins récréatives. Le développement des véhicules à trois roues a évolué pour devenir les véhicules à quatre roues que nous connaissons aujourd'hui. Bien qu'ils soient toujours beaucoup plus utilisés pour les loisirs, les véhicules haute performance et agiles sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment l'agriculture, la foresterie, l'exploration des ressources naturelles.

Tout comme la plupart des véhicules automobiles les véhicules tout-terrain ont des moteurs à combustion interne qui génèrent des émissions de gaz à effet de serre, pollution et bruit.

De ce fait, ce travail a pour but de réaliser un train d'entraînement électrique qui permettra l'électrification d'un véhicule à quatre roues pour obtenir un contrôle et une facilité d'utilisation similaire à un quad conventionnel.

Notre travail est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre nous allons présenter le côté historique des véhicules électriques faire une introduction à leurs structures en général et aussi parler des différents types de machines électriques, où nous donnerons un aperçu sur les différents types de motorisation, avec leurs avantages et inconvénients

La simulation est devenue un passage indispensable pour concevoir, caractériser, commander ou surveiller un système ou processus quelconque. Raison pour laquelle nous allons élaborer la conception et la simulation sous SOLIDWORK/ ANSYS dans le deuxième chapitre.

Dans le troisième chapitre nous allons voir les différents composants utilisés pour commander le moteur du E-Kart, ainsi que le schéma électronique de la carte conçue pour effectuer ce travail et aussi le programme utilisé.

Dans le dernier chapitre nous allons présenter toutes les étapes de la réalisation du Project en détail

Nous clôturerons notre travail par une conclusion générale, et quelques perspectives.

# **Chapitre I :**

# **Introduction aux véhicules électrique**

## I.1. Introduction aux véhicules électriques

### I.1.1. Introduction

Au début du 20<sup>ème</sup> siècle la voiture à essence connaît un succès important. Les voitures électriques de cette époque avaient une faible autonomie, et les batteries ne permettaient pas au moteur de délivrer autant de puissance qu'un moteur thermique. C'est pourquoi jusqu'à nos jours la voiture à essence n'a cessé de se développer. La voiture électrique ne fait donc pas encore partie de notre entourage mais elle devient de plus en plus sollicitée grâce à la constante hausse du pétrole et la médiatisation de la réduction du rejet de CO<sub>2</sub>. Après le Grenelle de l'environnement et avant une crise pétrolière, de nombreuses entreprises et d'écologistes veulent développer la voiture électrique au niveau de l'autonomie des batteries et de l'utilisation maximale des énergies propres. Afin que celle-ci deviennent réellement plus propre et plus avantageuse que les voitures à essence. [2].

Dans ce chapitre nous allons voir l'histoire des machines, véhicules et quads électriques ainsi que les avantages qu'ils ont par rapport aux véhicules à combustion pour montrer l'intérêt de l'électrification des Karts.

### I.1.2. Historique

Alors qu'on présente la voiture électrique comme le futur de la voiture, le tout premier véhicule électrique a pourtant fait son apparition dans les années 1830.

La figure suivante représente l'historique des voitures électriques.

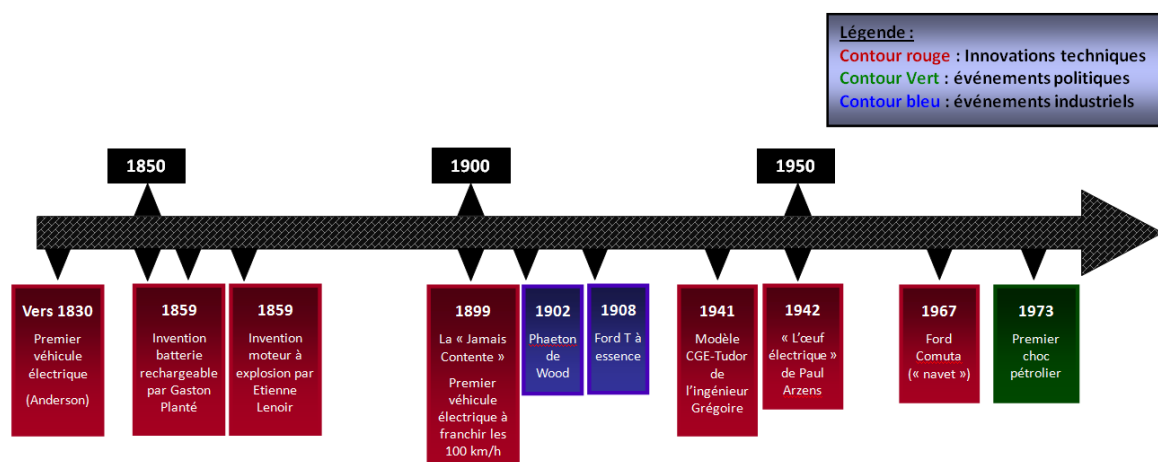


Figure I.1 : Histoire des véhicules électriques. [3]

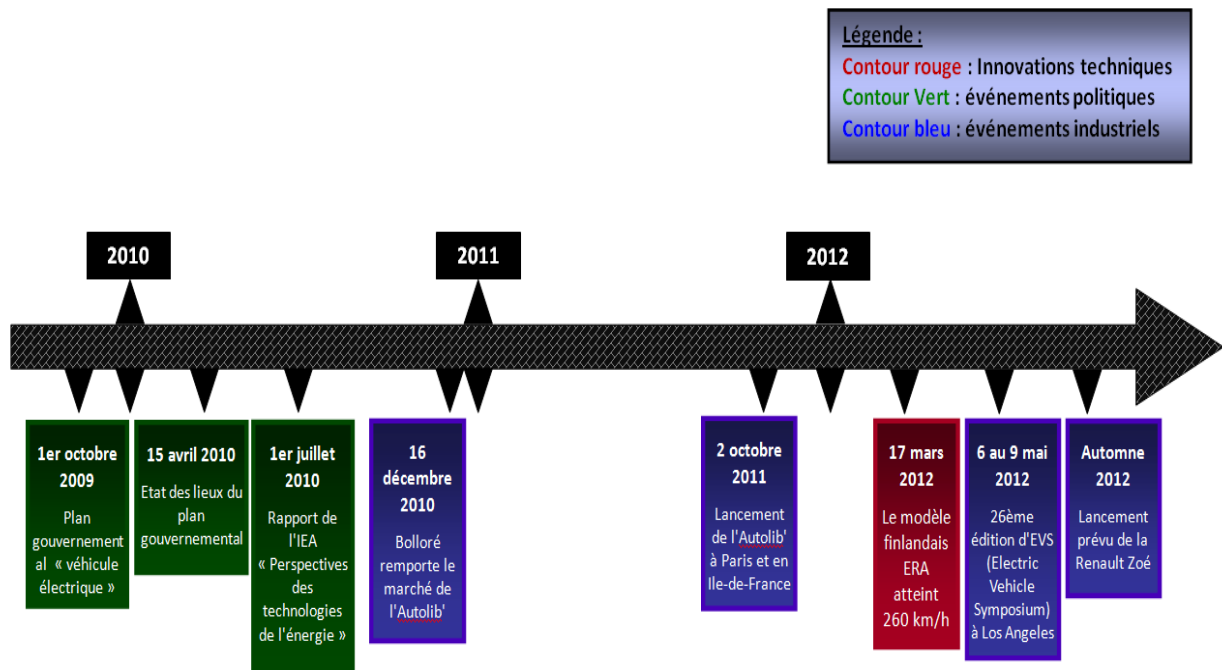


Figure I.2 : Histoire des véhicules électriques. [3]

## I.2. Les avantages des véhicules électriques

Le véhicule électrique présente de nombreux avantages. Voici quelques bonnes raisons de choisir un véhicule électrique : [4, 5,6]

- Les voitures électriques sont écologiques et non polluantes.
- Performant moteur : il peut être aussi puissant qu'un moteur thermique et même plus efficace.
- Le rendement des moteurs électriques est réellement meilleur que celui des moteurs thermiques.
- La voiture électrique demande peu d'entretien.
- Plaisir de conduire.
- un bon impact sur l'environnement.
- Economiques.

### I.3. Représentation d'un véhicule électrique

Les différents composants d'un véhicule électrique sont résumés dans cette figure :

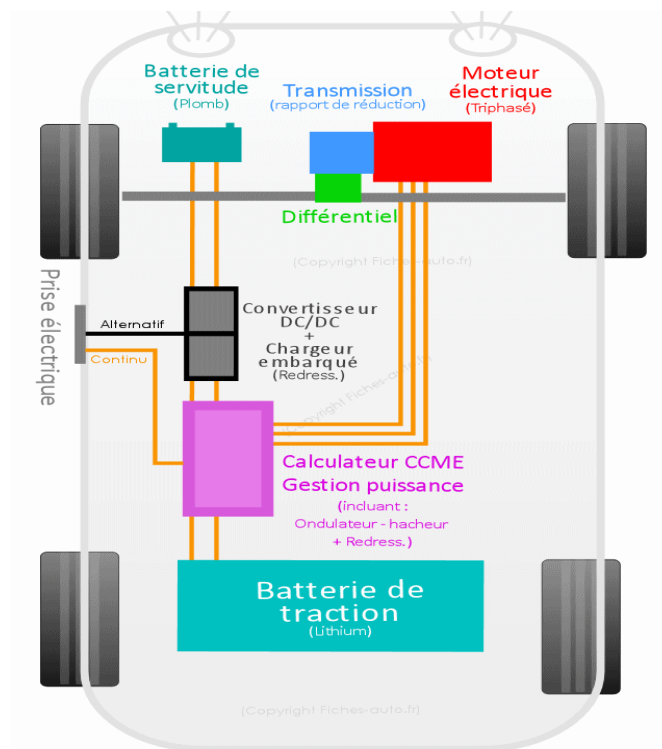


Figure I.3 : Représentation d'un véhicule électrique

### I.4. Les moteurs électriques utilisés dans les véhicules électriques [23]

Quelle que soit la source du courant (batterie chimique ou pile à combustion) un des enjeux du véhicule électrique est le choix du moteur, permettant la propulsion des roues à partir de la puissance délivrée par la source de courant.

#### I.4.1. introduction

Le principe de fonctionnement d'un moteur électrique est bien plus simple que celui d'un moteur thermique.

C'est, d'ailleurs pourquoi, la première voiture fonctionnait à l'électricité. Les avantages d'un moteur électrique, comparé à un moteur thermique, sont nombreux. Il est important de noter que contrairement au moteur thermique, qui a un couple maximal pour une vitesse de rotation de plusieurs milliers de tours par minute, le moteur électrique a un couple disponible instantanément.

De plus, et alors qu'un moteur thermique devra constamment tourner, même à l'arrêt, pour fournir du couple, le moteur électrique peut être « éteint » aux feux rouges et « garder » un

couple disponible. Ce couple pourra être conservé sur une large gamme de fréquence, c'est-à-dire de vitesse de rotation des roues, éliminant ainsi l'intérêt d'une boîte de vitesse.

### I.4.2. Les différents types de moteurs électriques utilisés

Il existe différentes moteur, chacun possède des avantages et des inconvénients par rapport à l'autre voici quelque moteur :

- Les moteurs à courant continu.
- Les moteurs à courant alternatif.
- Le moteur à réluctance variable.
- Le moteur asynchrone.
- Le moteur synchrone.
- Moteur BLDC.

Le tableau suivant présente les différents moteurs par rapport aux critères importants demandés par l'automobile.

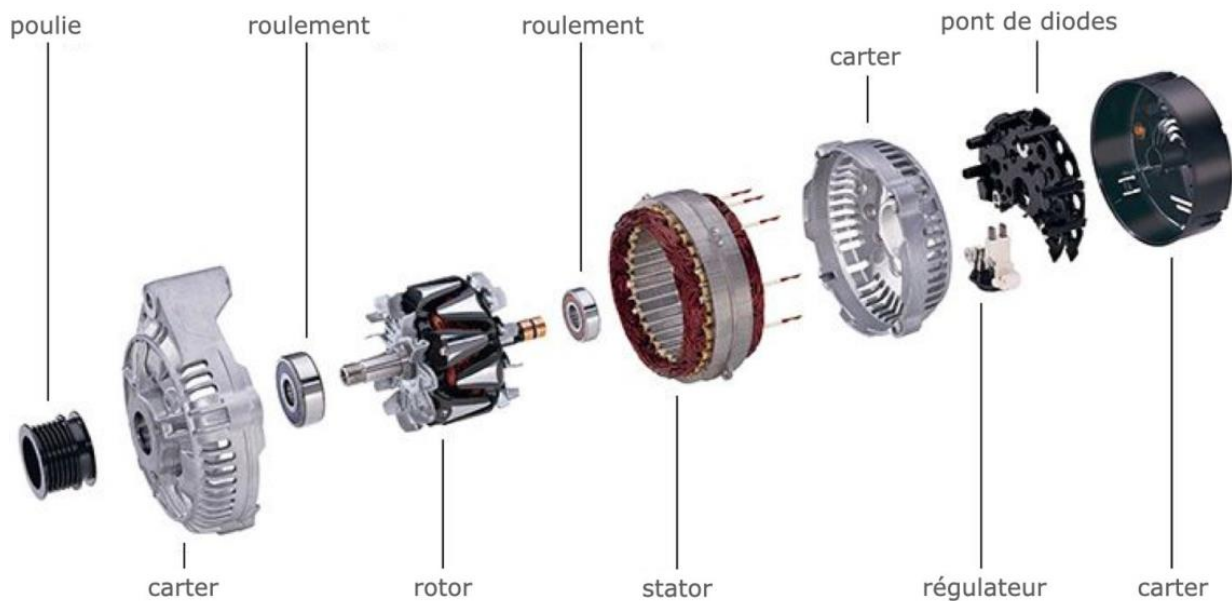
	Machine a coutant continue	Machine synchrone bobinée	Machine a aimants	Machine à reluctance	Machine asynchrone
Compacité	-	+	++	+	-
Pertes à basse vitesse	-	+	++	+	-
Pertes à haut vitesse	+	++	-	++	++
Acoustique	+	+	+	-	+
Fiabilité	-	+	++	++	++
Maturité industrielle pour la traction automobile	++	+	++	-	+
Simplicité de fabrication	-	-	+	++	++
cout	-	+	-	++	++

**Tableau I.1** : les différents moteurs par rapport aux critères importants demandés par l'automobile.

### I.5. Introduction à l'alternateur

Un générateur de courant est une machine électrique convertissant une puissance mécanique (généralement en rotation) en puissance électrique (un courant donné disponible sous une tension donnée). Les générateurs couramment montés sur les véhicules automobiles sont de deux modèles principaux : les dynamos et les alternateurs

### I.5.1. Composition d'un alternateur



**Figure I.4 :** les composants d'un alternateur

#### I.5.1.1. Le rotor

Ce dernier (rotor pour rotation) peut donc être à aimant permanent ou modulable (électro-aimant "dosable" en envoyant plus ou moins de courant d'excitation).

#### I.5.1.2. Balais / Charbons

Dans le cas de rotor alimenté par électricité (pas d'aimant permanent), il faut pouvoir alimenter le rotor alors qu'il tourne sur lui-même ... Une connexion électrique simple ne suffit alors pas (le fil va finir par s'enrouler sur lui-même !). De ce fait, et comme avec le démarreur, il y a des charbons dont le rôle est de permettre un contact entre deux éléments mobiles en rotation. En s'usant, le contact peut se perdre et l'alternateur ne fonctionne alors plus.

#### I.5.1.3. Stator

Le stator, comme son nom l'indique, est statique. Dans le cas d'un alternateur triphasé on aurait un stator composé de trois bobines. Chacun d'entre elle va générer du courant alternatif au passage de l'aimant du rotor, car ses électrons seront déplacés grâce à la force magnétique induite par l'aimant.

#### **I.5.1.4. Régulateur de tension**

Comme les alternateurs modernes ont un électro-aimant en leur centre, on peut alors réguler l'intensité du courant en le rendant plus ou moins actif (plus on l'alimente, plus il devient un aimant puissant).

#### **I.5.1.5. Pont de diodes**

Il permet de redresser le courant, et donc de transformer le courant alternatif (venant de l'alternateur) en courant continu (pour la batterie). [21]

#### **I.5.2. Fonctionnement d'un alternateur** [22]

L'alternateur est une pièce maîtresse du moteur . Le fonctionnement de l'alternateur repose sur d'une bobine de cuivre, enroulée autour d'un aimant. Cette bobine, entraînée par une courroie (courroie de l'alternateur), utilise la force du moteur en marche pour créer mécaniquement de l'électricité et recharger la batterie. Ainsi la batterie, suffisamment chargée en électricité permet au moteur de démarrer.

Quand le véhicule est en marche, c'est l'alternateur qui va transmettre du courant à l'ensemble du système électrique de votre véhicule en prenant le relais de la batterie.

Un alternateur est un générateur triphasé dont le courant est redressé puis filtré pour générer un courant continu. A chaque rotation du rotor trois tensions alternatives déphasées de  $120^\circ$  sont créées. Ces trois tensions sont ensuite couplées via un pont de diodes pour récupérer les alternances positive et négative en tension positive. Le schéma ci dessous décrit les différentes phases de redressement de ces trois tensions:

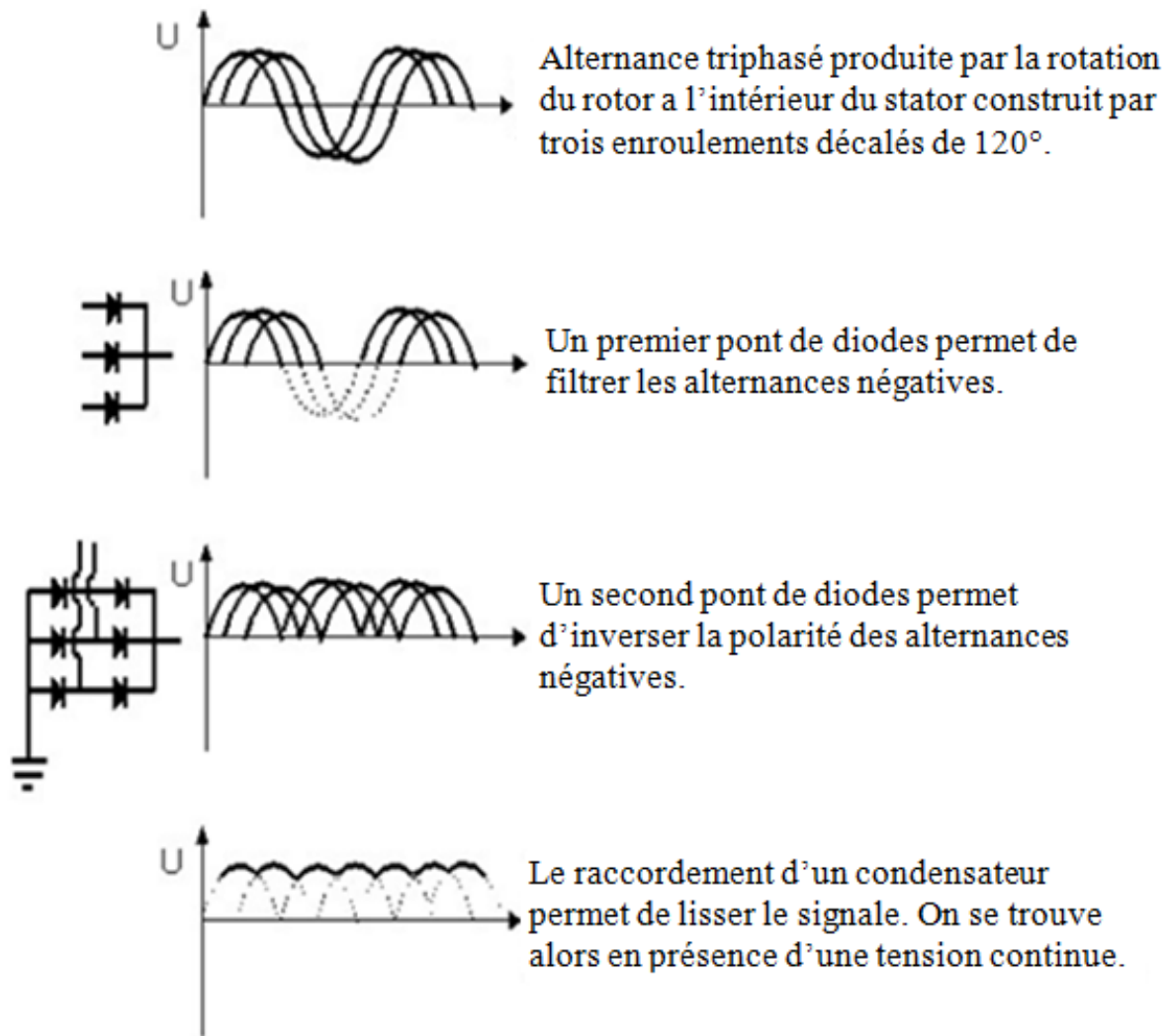


Figure I.5. Différentes phases de redressement

## I.6. Comment modifier un alternateur en moteur

Un alternateur de voiture peut fonctionner en moteur sous certaines conditions

Pour convertir un alternateur en moteur il faut suivre les étapes suivantes :

- Enlevez le pont de diodes et le régulateur.
- Configurer le stator en triangle.
- Isoler les deux charbons pour les alimenter séparément avec du 5V.
- Connecter un ESC au trois phase et l'alimenter avec une batterie 12V.

Pour avoir un meilleur rendement, couple et vitesse de rotation il faut utiliser un contrôleur de vitesse puissant et alimenter le rotor et les charbons avec du 36V et 12V.

L'alternateur modifié en moteur va être l'équivalent d'un moteur brushless.

## I.7. Les moteur brushless [8]

### I.4.1. Introduction

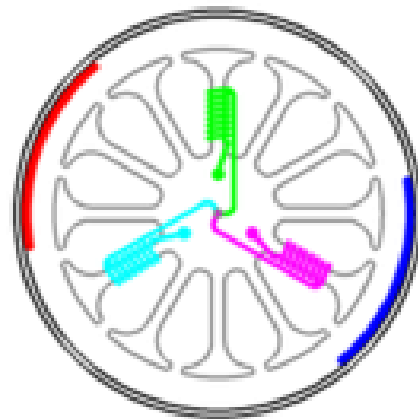
Le défaut principal des moteurs à courant continu est la présence des balais, qui engendrent des frottements, des parasites, et limitent la durée de vie du moteur par leur usure. Pour éviter tous ces problèmes on utilise des moteurs brushless, ou moteurs sans balais.

#### I.7.1.1. Composition du moteur brushless

Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, excepté le collecteur, mais l'emplacement des bobines et des aimants permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages.

#### I.7.1.2. Fonctionnement du moteur brushless simple

Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor cherche à chaque instant à s'orienter dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur. L'animation ci contre montre le fonctionnement :



**Figure I.6 :** Fonctionnement d'un moteur brushless

### I.7.2. Commande des moteurs brushless

Dans un moteur à courant continu avec balais, l'ensemble collecteur-balais assure mécaniquement la commutation dans l'alimentation des bobines en fonction de l'angle du rotor. Dans un moteur brushless cet élément n'existe plus, il faut donc créer cette commutation électroniquement.

#### I.7.2.1. Moteur brushless en régime établi

Le moteur brushless est un moteur synchrone, c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que le système de tensions qui l'alimente. Tant que le couple moteur est supérieur à la charge à entraîner, la rotation du rotor est synchronisée avec le champ magnétique. Si le couple résistant devient supérieur au couple moteur, et que la tension d'alimentation n'est pas ajustée

en conséquence, il y a un risque de décrochage, c'est-à-dire que le rotor risque de ne plus suivre le champ magnétique. A partir de ce moment là, le rotor va se mettre à osciller, sans pouvoir se resynchroniser avec le champ magnétique, ce qui peut provoquer sa destruction. Pour éviter cela, le système d'asservissement doit être en mesure de réagir si le couple résistant augmente, et ajuster la tension d'alimentation en conséquence.

### **I.7.2.2. Démarrage d'un moteur brushless**

Le même problème se pose pour le démarrage du moteur brushless, car le rotor ne peut pas atteindre instantanément la vitesse de rotation du champ. Un démarrage progressif doit être assuré avec un système de contrôle électrique, l'objectif étant toujours de reproduire la fonction du collecteur. La fréquence des tensions d'alimentations sera donc très basse au départ, puis augmentée progressivement en tenant compte de la réaction du moteur.

### **I.7.2.3. Principe de commutation des moteurs brushless**

#### **I.7.2.3.1. Moteurs brushless à Capteurs à effet hall**

Dans ce type de moteur brushless, des capteurs à effet hall (3 en général) sont utilisés pour connaître à tout moment la position du rotor, et adapter en conséquence l'alimentation des bobines et le champ magnétique. Le capteur va détecter le passage d'un pôle magnétique, et à partir de cette information le circuit de commande électronique assurera la commutation des bobines. L'utilisation de capteurs à effet hall dans les moteurs brushless permet une excellente régulation, cependant l'ajout de ces composants, et le fait qu'il faille les placer très près du rotor entraîne un surcoût et un risque de panne supplémentaire. Cette solution est la plus employée dans les moteurs brushless utilisée en industrie.

#### **I.7.2.3.2. Moteurs brushless à régulation basée sur la fcem**

Pour éviter l'utilisation de capteurs à effet hall, certains circuits de commande de moteurs brushless utilisent les bobines non alimentées à un instant donné pour mesurer la force contre électromotrice et en déduire le moment pour déclencher la commutation. Cette solution permet d'éviter l'emploi de capteurs à effet hall, et donc de réduire le prix du moteur brushless. Par contre, au démarrage, la fcem est trop faible pour être utilisable. Il faut donc utiliser un autre mode de commande pour le démarrage des moteurs brushless sans capteurs. Généralement, ils sont démarrés comme des moteurs pas à pas, en commutant les phases à une fréquence croissante prédéfinie, suffisamment lentement pour que le moteur brushless ne décroche pas. Le couple dans cette phase est très mauvais. La mise au point de ce système de

commande est très difficile, requiert une puissance de calcul importante et nécessite des solutions de filtrage pour distinguer la fcm des parasites engendrés par le moteur. Cette technique est principalement employée dans les petits moteurs brushless, en particulier en modélisme.

#### I.7.2.4. Régulation de vitesse d'un moteur brushless

Globalement, la vitesse maximale d'un moteur brushless est liée à sa tension d'alimentation, ou du rapport cyclique dans le cas d'une commande en PWM, par un coefficient appelé Kv. La valeur de ce coefficient dépend de la construction du moteur (nombre de bobines, de pôles, d'encoches, type de fil pour les bobines, ...). Contrairement à un moteur synchrone triphasé ou on ajuste la fréquence pour obtenir la vitesse souhaitée, ici c'est la vitesse du moteur brushless qui va indiquer au contrôleur à quelle fréquence il doit assurer la commutation.

Normal">Pour réguler la vitesse d'un moteur brushless il faut donc faire varier la tension d'alimentation de chaque bobinage, tout en maintenant une fréquence de commutation adaptée à la fréquence de rotation mesurée du moteur. En pratique, les contrôleurs de moteurs brushless les plus performants peuvent intégrer les deux fonctions : commutation des bobines en fonction des données des capteurs à effet hall, et régulation de la vitesse en PWM sur l'alimentation de chaque bobine.

#### I.7.3. Les différents types de moteurs brushless

Selon les applications, il existe une grande variété de moteurs brushless avec des caractéristiques de couples, vitesses, inertie différente en fonction de leurs constitutions.



**Figure I.7 :** Rotor et stator d'un moteur brushless outrunner

##### I.7.3.1. Moteurs brushless outrunner

On appelle « outrunner » les moteurs brushless dont le rotor est autour du stator. Cette configuration est intéressante en termes de couple moteur, car les aimants sont disposés sur un diamètre important, ce qui crée un bras de levier très intéressant. De plus, cette disposition

permet de placer facilement plusieurs séries d'aimants (jusqu'à 32 pôles sur certains moteurs brushless outrunners) et de bobines. Les bobines sont toujours câblées par groupes de 3, et les aimants sont soit collés par groupes de 2, soit constitués d'une partie magnétique comprenant plusieurs pôles. Comme pour un moteur pas à pas, les moteurs brushless outrunners comprenant plus de 3 bobines et 2 pôles ne font qu'une fraction de tour lorsque le champ a tourné de  $180^\circ$ . Leur fréquence de rotation est donc plus faible mais le couple très élevé. Ces moteurs brushless outrunners sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent un fort couple, car ils peuvent être reliés à la charge sans nécessiter de dispositif de réduction. Leur coefficient Kv est relativement faible par rapport aux autres types de moteurs brushless. Les principales applications des moteurs brushless outrunners sont les suivantes : ventilateurs, moteurs de disques durs, Cd-rom, moteurs de vélos électriques (intégrés dans le moyeu), bateaux ou avions radio commandés.

### I.7.3.2. Moteurs brushless inrunner

Contrairement au type précédent, les moteurs brushless inrunners ont le rotor à l'intérieur du stator. Ils n'ont généralement qu'une seule paire de pôles sur le rotor, et 3 bobines au stator. L'inertie du rotor est beaucoup plus faible que pour un moteur outrunner, et les vitesses atteintes par ce type de moteur sont beaucoup plus élevées (Kv jusqu'à 7700 tr/min/V). La gestion électronique de la commutation est par contre plus simple car le rotor tourne à la même fréquence que le champ magnétique. Le couple des moteurs brushless inrunners est plus faible que pour un outrunner car les aimants sont sur un diamètre plus petit à taille de moteur égale. Ce type de moteur brushless est très utilisé dans l'industrie car il se rapproche beaucoup d'un moteur à courant continu à balais et collecteur.



**Figure I.8 :** Moteurs brushless inrunner.

### **I.7.3.3. Moteurs brushless disques**

Le rotor et le stator peuvent également être constitués de deux disques face à face, avec les rayons et les bobines répartis selon les rayons de ces deux disques. Ce type de moteur brushless est peu employé car l'action des bobines sur les aimants crée un effort axial important qui nécessite des butées à billes conséquentes, sans offrir de différences notables au niveau des performances par rapport à un moteur brushless outrunner.

## **I.8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons pu exposer l'évolution des machines électriques en général à travers le temps et aussi brièvement et spécifiquement celle du véhicule électrique ainsi que leurs succès.

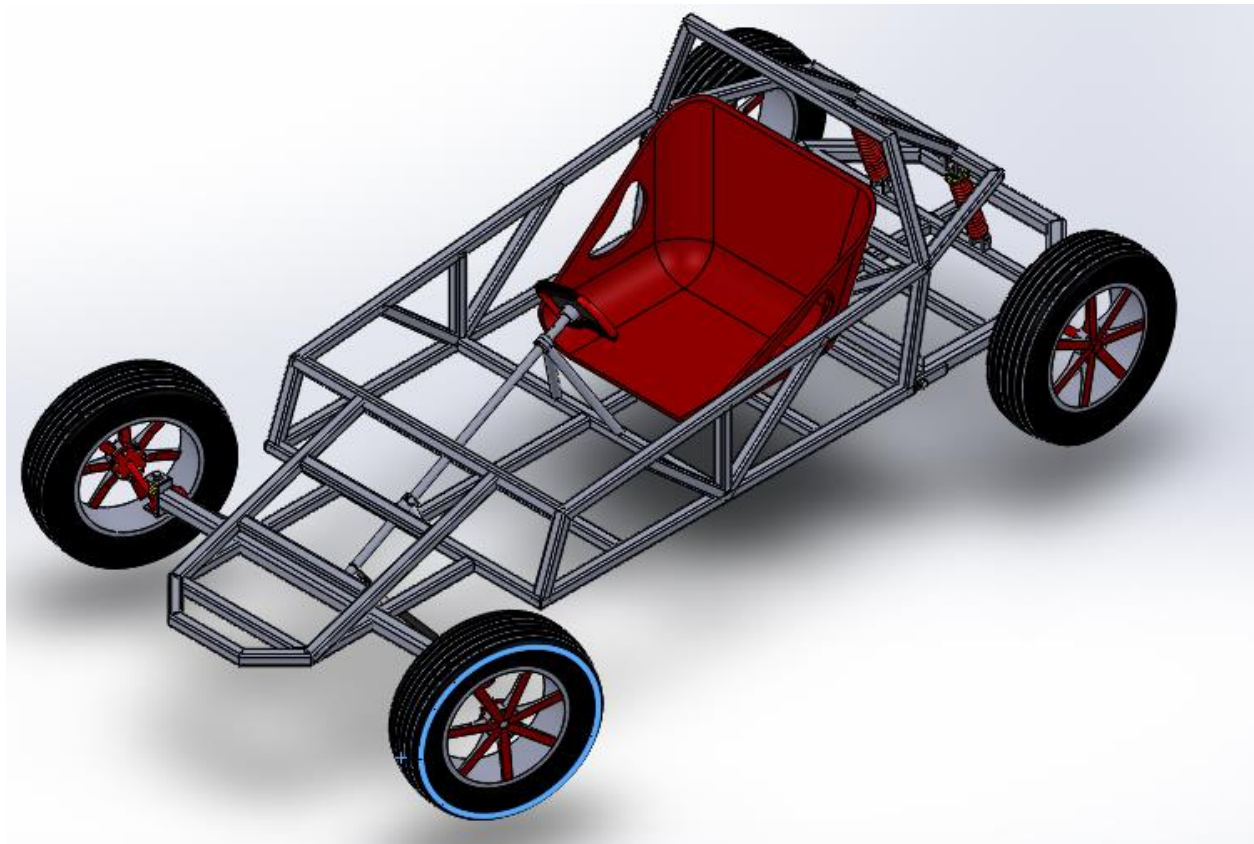
Nous avons aussi pu voir la structure de ces deux types de véhicules, et les divers avantages qu'il y avait à en tirer de la conversion d'un véhicule tout terrain à moteur à combustion interne en moteur électrique, ainsi que la représentation d'un véhicule électrique.

Comme ce chapitre nous a aussi permis de parler sur le moteur Brushless, sa composition et son fonctionnement, ensuite on a pu voir les différents types de ce moteur chacun avec ces caractéristiques, ces avantages et son utilisation en introduisant quelques figures sur ce dernier.

Dans le prochain chapitre nous allons donc voir la conception d'un châssis du E-Kart sous SolidWorks et ANSYS et l'analyse par rapport au matériau utilisé.

# CHAPITRE II

## CONCEPTION ET ETUDE DU CHÂSSIS



## II.1. Introduction:

Le processus de conception du véhicule est itératif et repose sur divers processus d'ingénierie et d'ingénierie inverse, en fonction de la disponibilité, du coût et d'autres facteurs. [9]

Le processus de conception se concentre donc sur les objectifs suivants :

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1 - Sécurité          | 6 - Facilité d'entretien |
| 2 - Solidité          | 7 - Robustesse           |
| 3 - Normalisation     | 8 - Coût                 |
| 4 - Durabilité        | 9 - Poids léger          |
| 5 - Haute performance |                          |

## II.2. Objectifs de conception

**Les objectifs de conception du châssis sont les suivants : -**

- Assurer une protection complète du conducteur en obtenant la résistance et la rigidité à la torsion requises, tout en réduisant le poids grâce à une sélection rigoureuse des tubes
- Conception en vue de la fabrication, ainsi que de la réduction des coûts, afin de s'assurer que les coûts des matériaux et de fabrication soient compétitifs par rapport aux autres karts.
- Améliorer le confort du conducteur en offrant plus d'espace latéral dans le compartiment du conducteur.
- Maintenir la facilité d'entretien en s'assurant que les éléments du châssis n'interfèrent pas avec d'autres sous-systèmes.
- Déterminer le rapport coût-efficacité d'un tel système en termes de fabrication à grande échelle.
- Calcul des contraintes agissant sur le châssis du véhicule dans différentes conditions de chargement.
- Le produit peut s'avérer très efficace dans tous les aspects tels que le coût, la maniabilité, l'entretien, la facilité d'utilisation, la sécurité, etc. [9]

## II.3. Aperçu du projet

### II.3.1. Conception du châssis

Le châssis est l'un des aspects les plus importants d'un E-Kart. Le châssis d'un tel véhicule est de préférence constitué de tubes carré creux ou de sections super tubulaires afin de le rendre léger et d'absorber les chocs.

La conception du châssis doit être telle qu'il ne doit pas être soumis à des torsions lors de virages serrés, il doit donc avoir une résistance à la traction et une élasticité suffisante pour résister aux effets des forces centrifuges. [9]

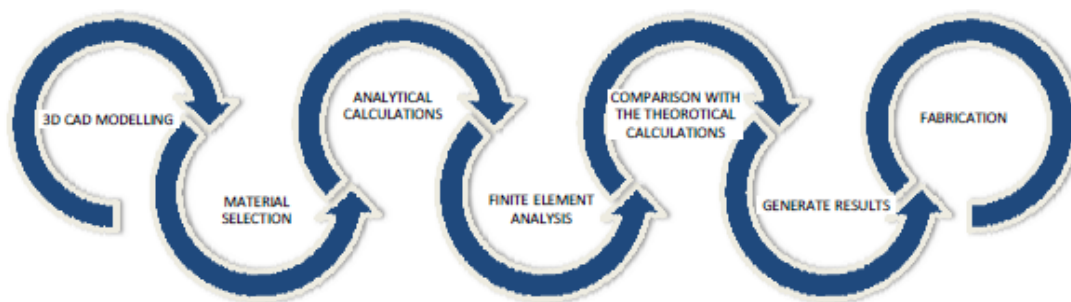
### II.3.2. Les contraintes relatives à la conception

L'utilisation du logiciel SOLIDWORKS nous a permis de visualiser la conception dans l'espace en 3-D et de réduire les erreurs de fabrication. Le critère principal de la conception du châssis était d'atteindre un équilibre parfait entre une zone de conduite spacieuse et ergonomique, avec une entrée et une sortie facile, et des dimensions compactes pour atteindre les critères de poids et de rigidité en torsion requis.

Après une série de changements de conception, avec une analyse par éléments finis conséquente utilisant le logiciel ANSYS-15, la conception finale du châssis a été décidée. [9]

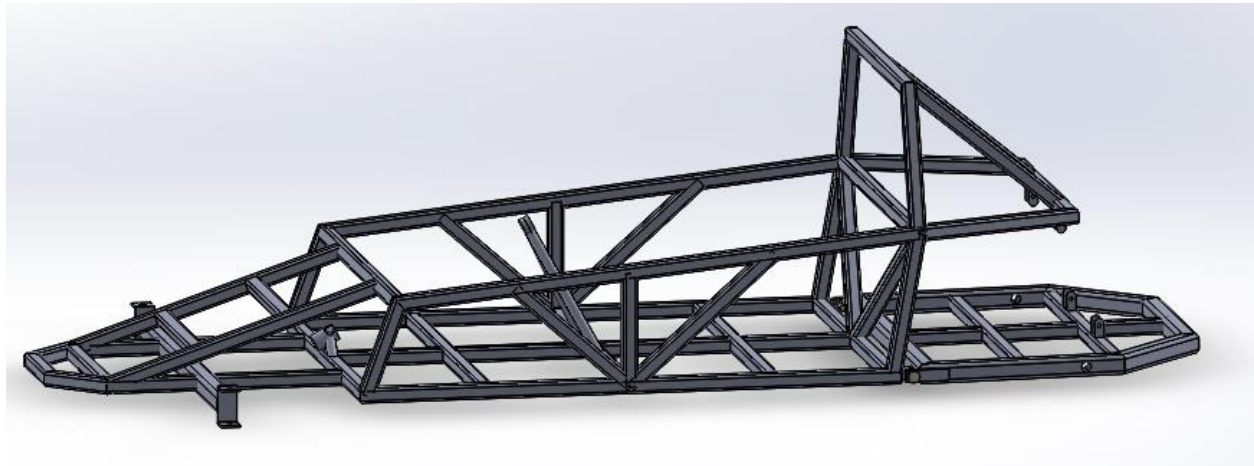
## II.4. Méthodologie

L'objectif principal de l'étude est d'obtenir une déflexion maximale du châssis dans des conditions statiques. L'organigramme général de l'étude est présenté à la figure II.1.

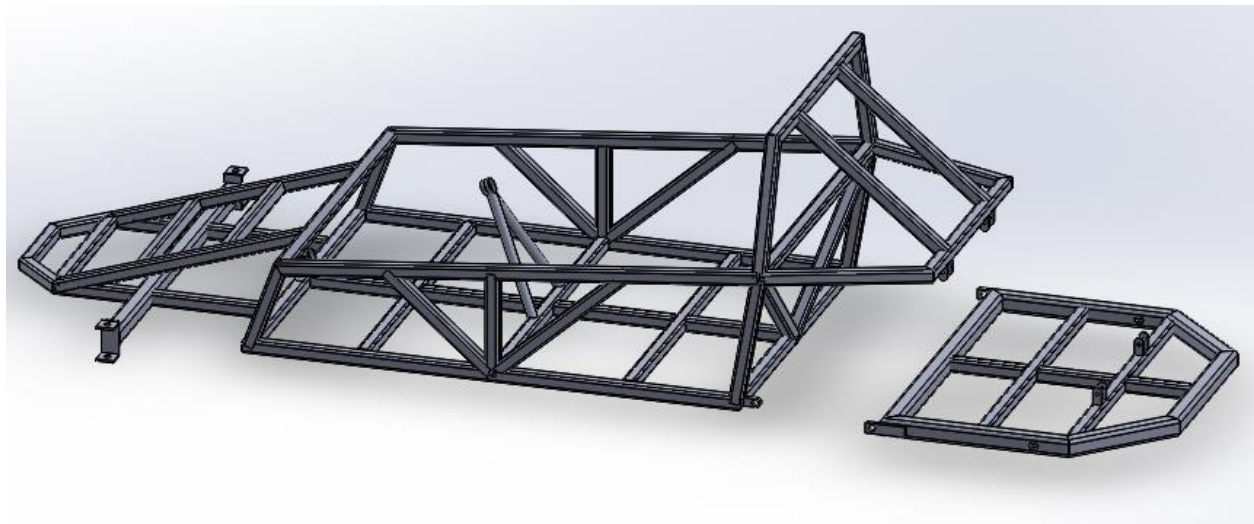


**Figure II.1** : Organigramme décrivant la méthodologie

Le model final du châssis et présente dans la figure suivant



**Figure II.2 :** Modèle CAO 3D du châssis du E-kart



**Figure II.3 :** Modèle CAO 3D du châssis du E-kart montrant ses deux parties.

## II.5. SÉLECTION DU MATÉRIAU

le châssis est constitué d'AISI-1010. Ce matériau a été choisi parce qu'il s'agit d'un acier structural qui est le plus utilisé parmi les aciers en raison de ses qualités suffisantes et de son prix comparativement bas. Cette combinaison les rend utiles dans différents secteurs.

Les propriétés du matériau sont présentées dans le tableau II.1

PROPRIÉTÉS	AISI1010	AISI1015	AISI1018	AISI1020
Densité (gm/cc)	7.87	7.87	7.87	7.87
Résistance à la traction (Mpa)	365	385	440	420
Limite d'élasticité (Mpa)	305	325	370	350
Module d'élasticité (Gpa)	190-210	190-210	205	205
Module de cisaillement (Gpa)	80	80	80	80
Rapport de Poisson	0.27-0.3	0.27-0.3	0.29	0.29
Allongement à la rupture (50mm)	20%	18%	15%	15%
BHN	105	111	126	121
Dureté Rockwell	60	64	71	68
Conductivité thermique (W/mK)	49.8	51.9	51.9	51.9

TABLEAU II.1 : Propriétés des matériaux [10]

## II.6. CALCULS ANALYTIQUES :

### II.6.1. Conception du châssis :[11]

Nous avons choisi le design de la figure II.2 parce qu'il correspond à nos attentes mais aussi parce que nous pouvons l'améliorer de différentes manières.

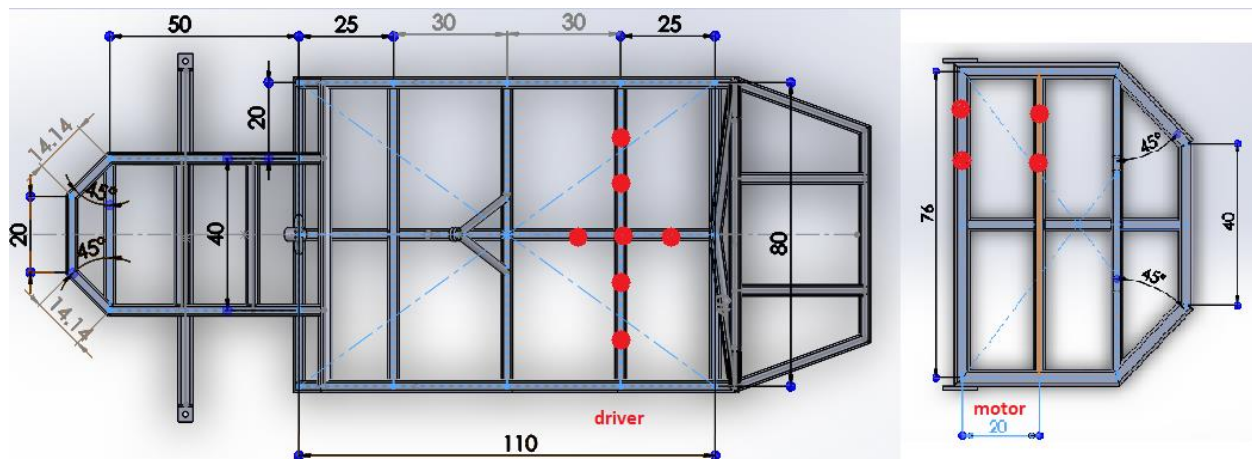
### II.6.2. Analyse du châssis en charge statique :

L'analyse des charges statiques du châssis implique la conception de la voiture lorsqu'elle est au repos.

Charges statiques sur le châssis :

- Conducteur avec siège et accessoires.
- Cage de sécurité.
- Moteur électrique.
- Système de direction.
- Batterie.

La charge du conducteur, siège du conducteur et de la batterie a été prise en considération, tandis que la charge du système de direction, moteur, etc. est faible par rapport aux composants ci-dessus et peut donc être négligée.



**Figure II.4 :** Charges statiques sur le châssis

- Indique la position des charges statiques

### II.6.2.1. Analyse par éléments finis :

La sécurité et la résistance du châssis sont des enjeux importants pour sa structure. Pour répondre à ces exigences, il est essentiel d'effectuer une analyse statique du châssis. L'analyse statique a été réalisée à l'aide de la méthode des éléments finis, car il s'agit d'une approche efficace et effective. Le logiciel ANSYS a été utilisé pour l'analyse par éléments finis.[9]

### II.6.2.2 Maillage :

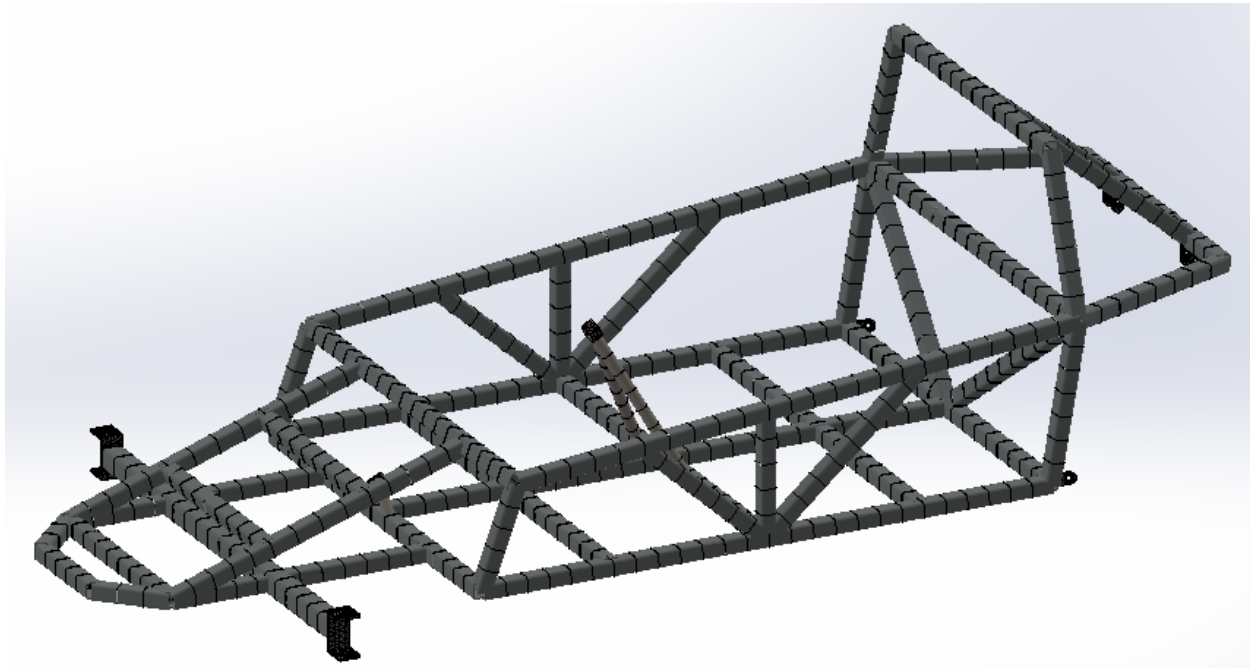


Figure II.5 : Maillage du cadre

### II.6.2.3 Chargement

La figure ci-dessous montre les forces qui ont été imposées vers le bas au modèle structurel. La charge est distribuée uniformément sur l'élément situé sous le siège du conducteur.

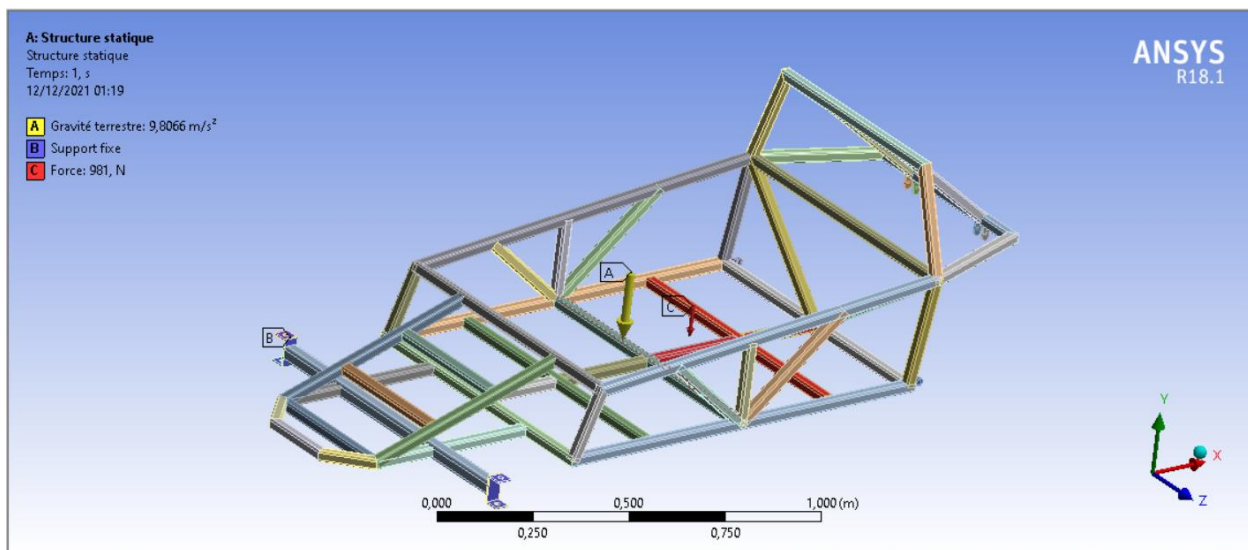
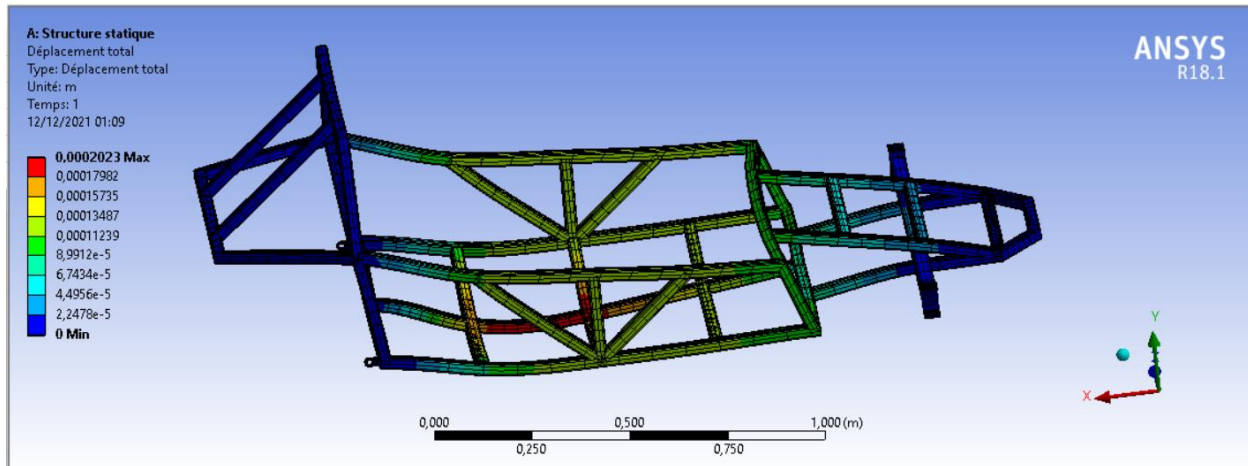


Figure II.6 : Conditions de chargement

### II.6.2.4. Résultats de l'analyse statique



**Figure II.7: Résultats**

Cette figure montre la déflexion du modèle. La valeur de la déflexion maximale est de  $2.023 \times 10^{-4} \text{ m}$ . Le résultat montre que l'emplacement de la déflexion maximale correspond bien à l'emplacement théorique mais varie en termes de l'amplitude par rapport à l'analyse numérique. La structure est considérée sous une charge uniformément distribuée du siège du conducteur pour les calculs analytiques.[9]

### II.6.2.5 : conclusion :

le châssis peut supporter le poids du conducteur jusqu'à 100kg

### II.6.3. Analyse du châssis en dynamique

Pour assurer la sécurité du conducteur et la résistance requise du châssis, les scénarios d'impact dynamique suivants ci-dessous ont été analysés à l'aide du logiciel SOLIDWORKS afin de s'assurer que la conception du châssis n'échouera pas.

- Analyse de l'impact frontal
- Analyse de l'impact latéral
- Analyse de l'impact arrière

### II.6.3.1. Analyse de l'impact frontal

#### II.6.3.1.1 Calcul de la charge d'impact :

si l'on considère :

châssis = 80 kg, conducteur = 70 kg, direction = 10 kg, moteur = 10 kg, batterie = 15 kg.

**Poids total=185 kg**

Dans l'essai de collision frontale, le E-kart entre en collision avec un mur rigide stationnaire et s'immobilise. En utilisant la masse projetée du véhicule/conducteur de **185 kg**, la force d'impact a été calculée sur la base d'une charge **G de 4**. [10]

$$F = ma \dots (1)$$

$$= 185 \cdot 4 \cdot 9.81$$

$$= 7259,4 \text{ N}$$

$$\text{Temps d'impulsion} = \text{poids} \cdot (\text{vélocité}/\text{charge}) \dots (2)$$

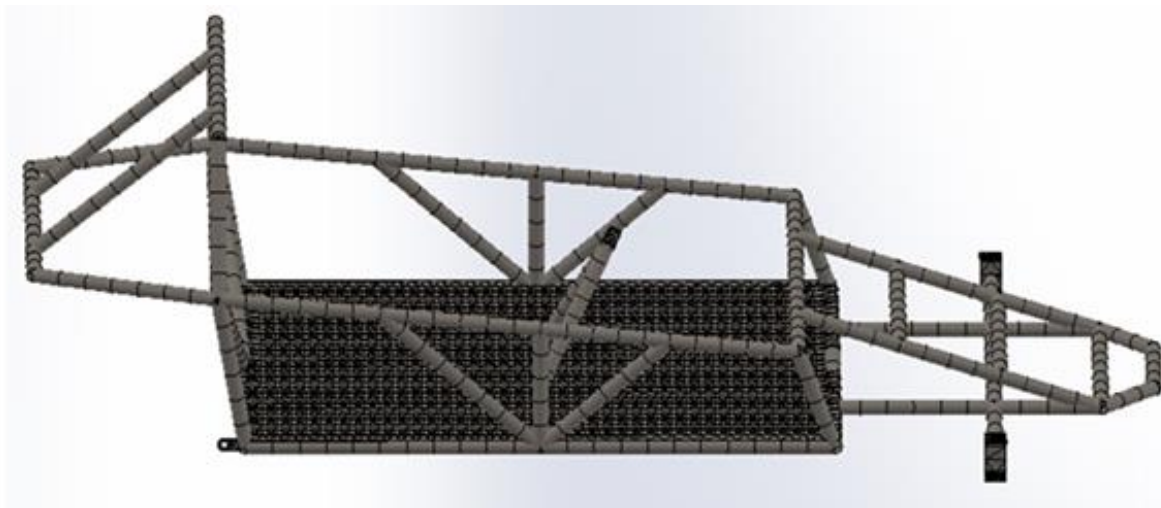
$$= 185 \cdot (40 / 7259,4)$$

$$= 1.01 \text{ secondes}$$

Nous appliquons **7259,4N** de l'avant pour l'essai d'impact frontal de la structure de l'arceau de sécurité du véhicule pour déterminer la résistance au moment de la collision frontale. [10]

#### II.6.3.1.2 Maillage :

Le maillage est probablement la partie la plus importante de toutes les simulations informatiques, car il peut entraîner des changements radicaux dans les résultats. [10]



**Figure II.8 :** Maillage sur le châssis

### II.6.3.1.3. Chargement :

La charge égale à **7259,4N** est appliquée sur le pare-chocs avant et le châssis est fixé au centre.

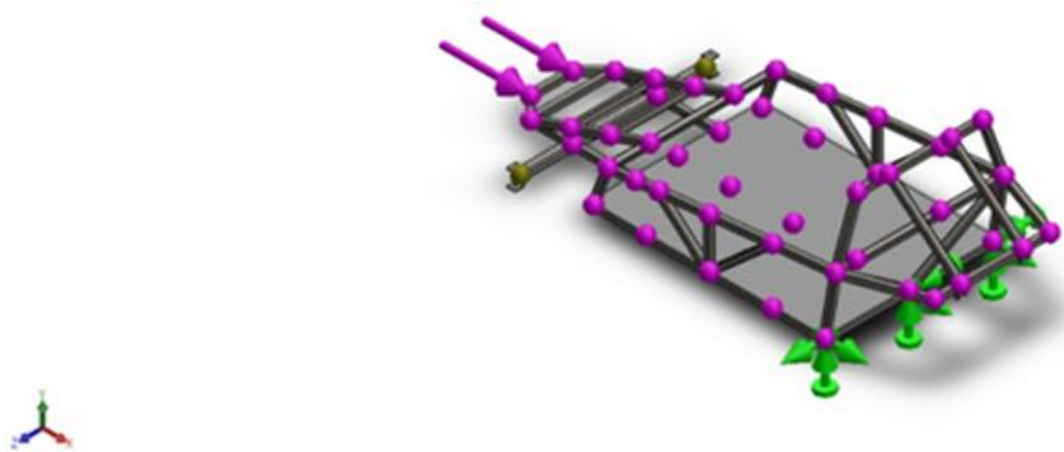


Figure II.9 : Chargement sur le châssis

### II.6.3.1.4. Résultats de l'étude :

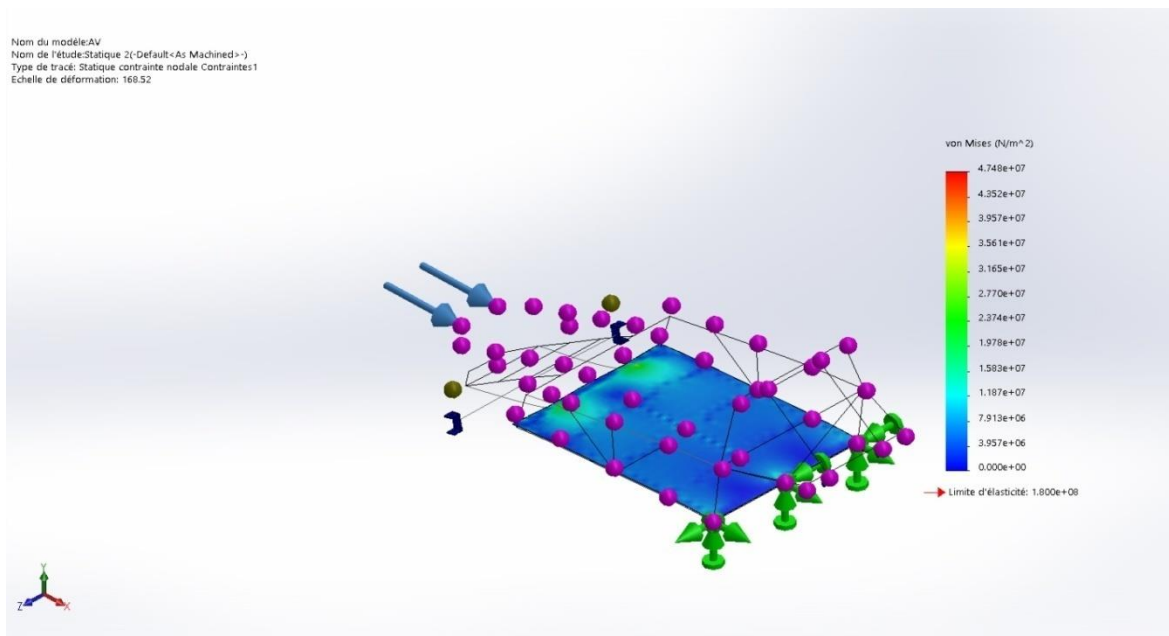


Figure II.10 : Contrainte de Von Messes

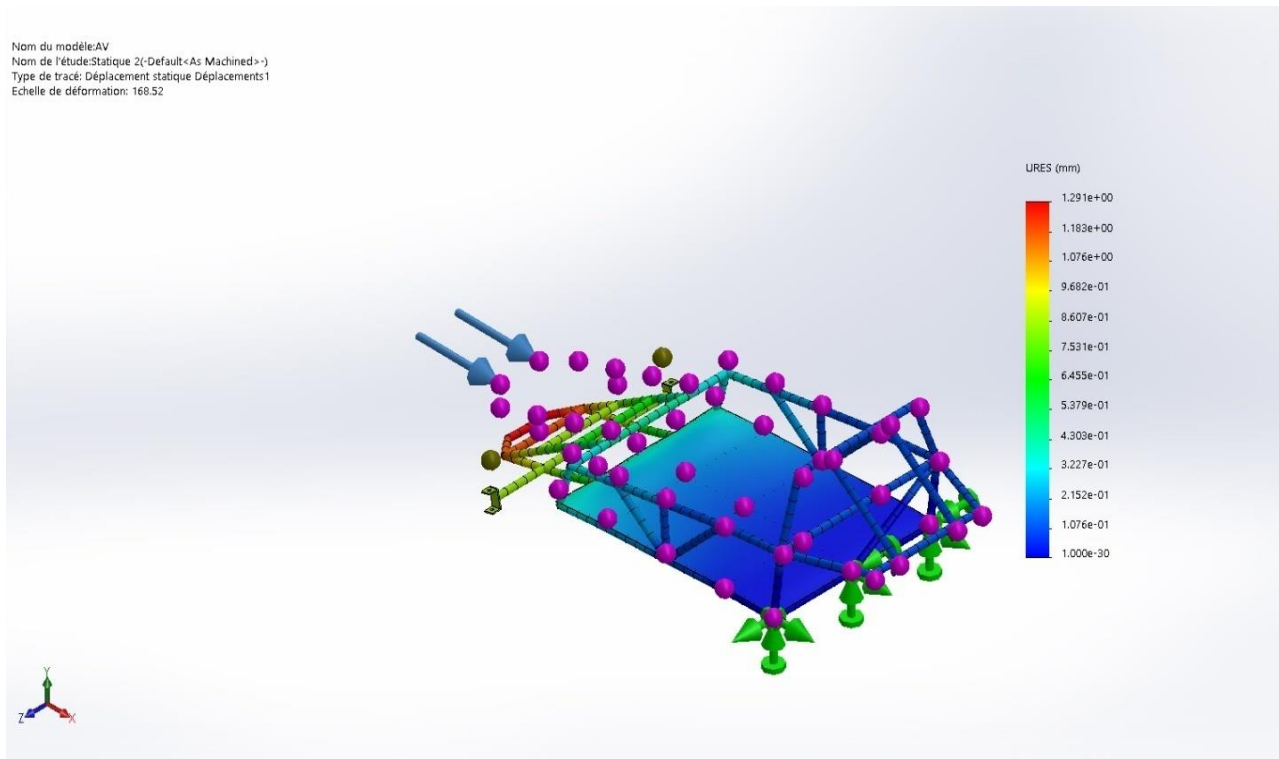


Figure II.11 : Déplacement résultant

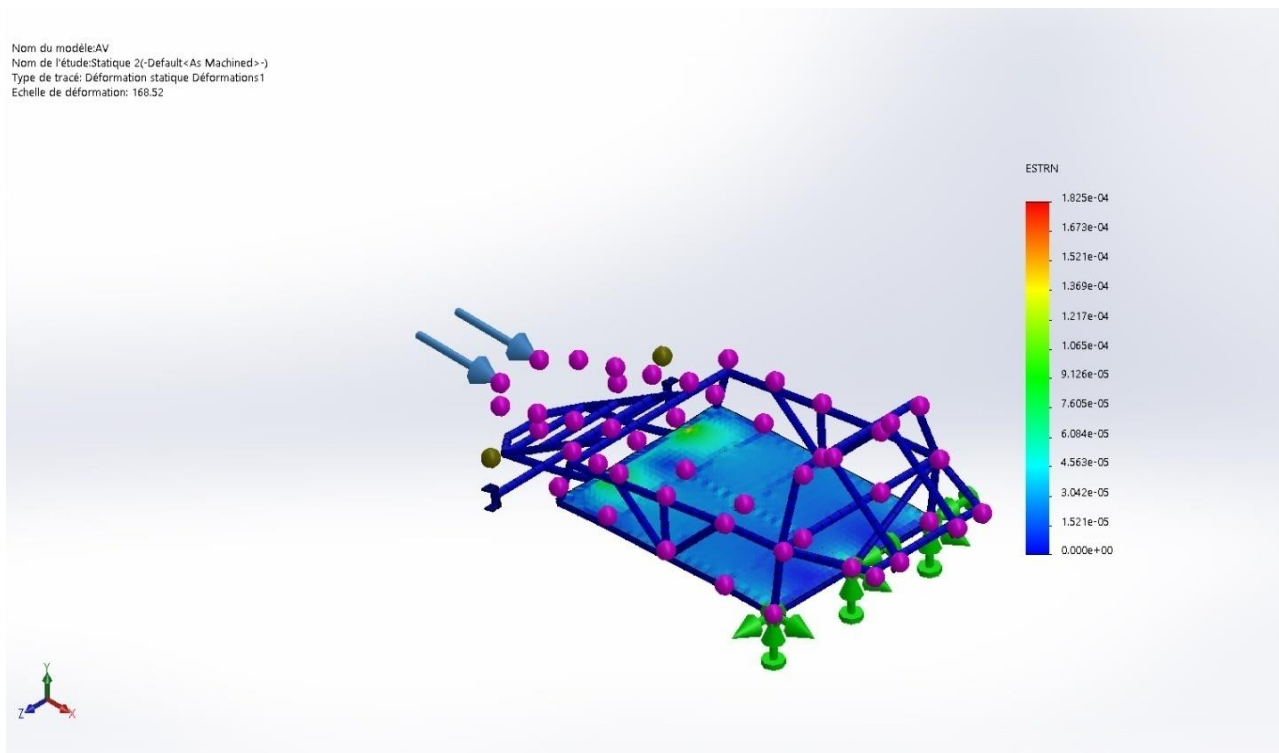


Figure II.12 : Contrainte équivalente

### II.6.3.1.5. Analyse du châssis en dynamique

Résultats :

#### Contrainte

$$\text{Contrainte maximale} = 1.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 180 \text{ MPa}$$

#### Facteur de sécurité

$$\text{Facteur de sécurité incorporé} = S_{yt}/S_{max}$$

$$= 305/180$$

$$= 1.69$$

Comme le facteur de sécurité est supérieur à '1', c'est-à-dire que la contrainte de travail est inférieure à la limite d'élasticité du matériau, la conception est donc sûre pour la contrainte spécifiée.[10]

### II.6.3.2. Analyse de l'impact latéral

#### II.6.3.2.1. Calcul de la charge d'impact :

En utilisant la masse projetée du véhicule/conducteur de **185 kg**, la force d'impact a été calculée sur la base d'une charge **G de 2**. [10]

$$F = ma$$

$$= 185 \times 2 \times 9.81$$

$$= 3629.7 \text{ N}$$

$$\text{Temps d'impulsion} = \text{poids} \times (\text{vélocité}/\text{charge})$$

$$= 185 \times (40 / 3629.7)$$

$$= 2.03 \text{ secondes}$$

Nous appliquons **3629.7N** du côté pour l'essai d'impact latéral de la structure de l'arceau du véhicule pour déterminer la résistance au moment de la collision latérale.

#### II.6.3.2.2. Chargement et contrainte :

La charge égale à **3629.7N** est appliquée sur le cotée du châssis est contraint au centre.

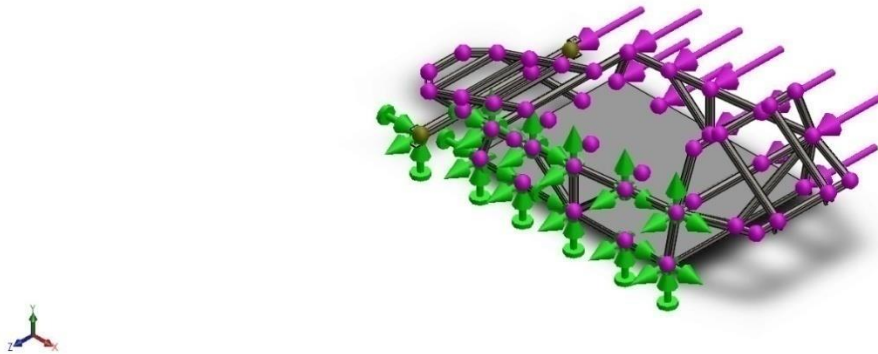


Figure II.13 : Chargement en cas d'impact latéral

### II.6.3.2.3. Résultats de l'étude :

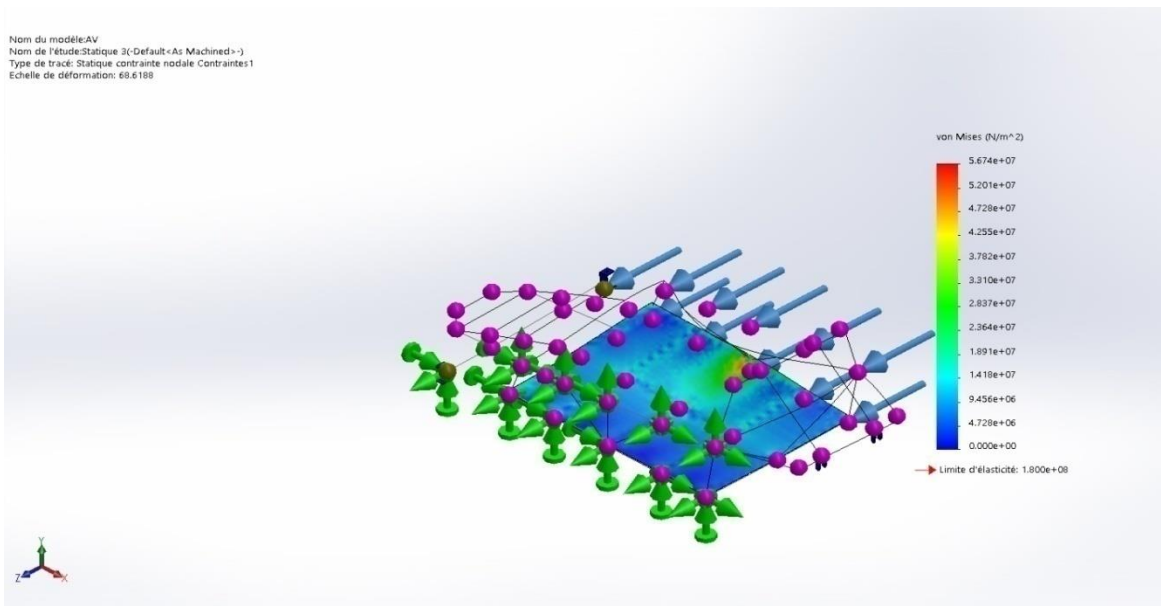


Figure II.14 : Contrainte de Von Messes

Nom du modèle:AV  
 Nom de l'étude:Statique 3(Default<As Machined>-)  
 Type de tracé: Déplacement statique Déplacements1  
 Echelle de déformation: 68.6188

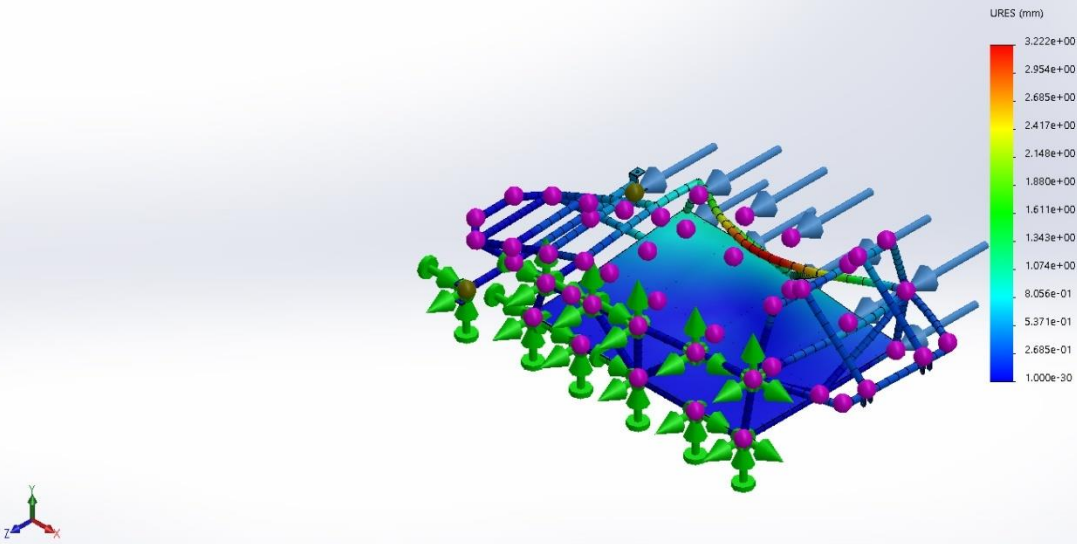


Figure II.15 : Déplacement résultant

Nom du modèle:AV  
 Nom de l'étude:Statique 3(Default<As Machined>-)  
 Type de tracé: Déformation statique Déformations1  
 Echelle de déformation: 68.6188

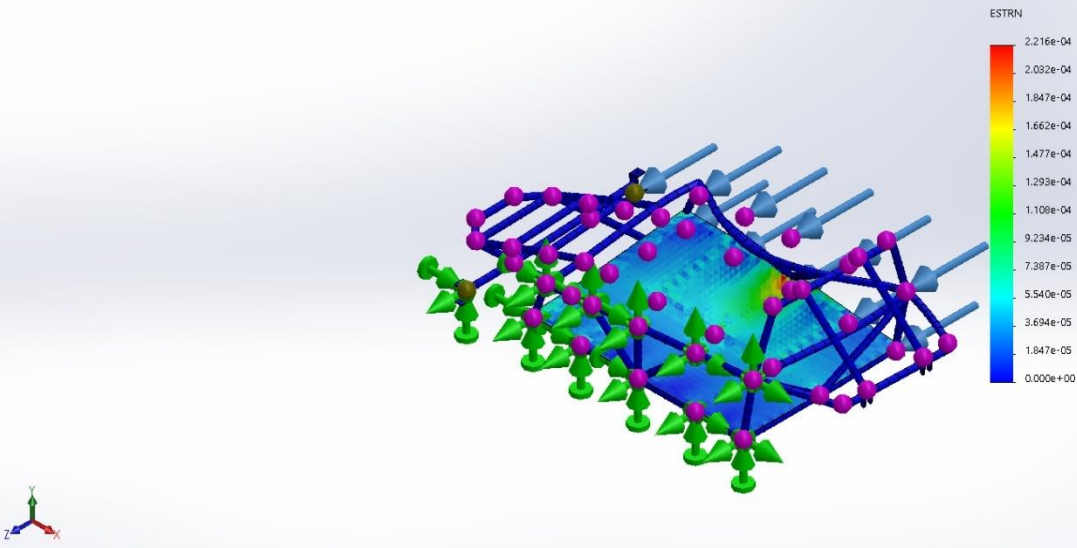


Figure II.16 : Contrainte équivalente

### II.6.3.2.4. Analyse du châssis en dynamique

Résultats :

**Contrainte**

Contrainte maximale = 180 MPa

Facteur de sécurité

**Facteur de sécurité incorporé =  $S_{yt}/S_{max}$**

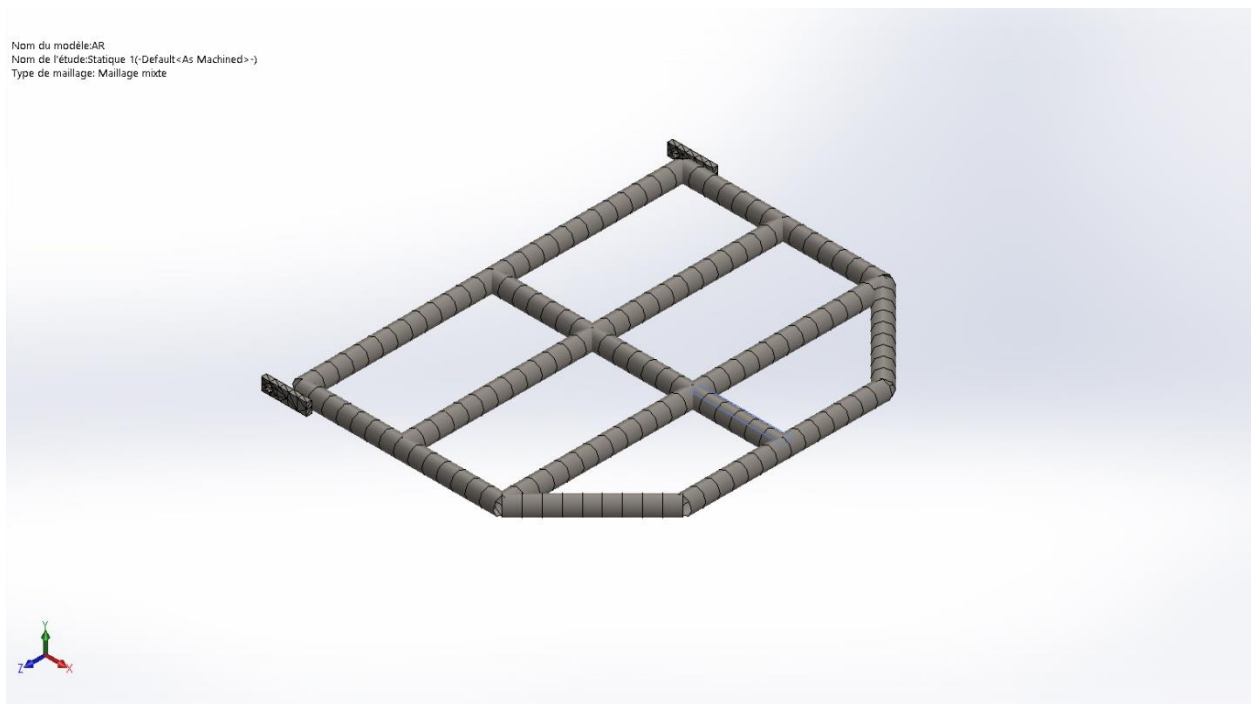
= 305/180

= 1.694

Comme le facteur de sécurité est supérieur à '1', c'est-à-dire que la contrainte de travail est inférieure à la limite d'élasticité du matériau, la conception est donc sûre pour la contrainte spécifiée.[10]

### II.6.3.3. Analyse de l'impact sur l'arrière

#### II.6.3.3.1. Maillage :



**Figure II.17 :** Maillage sur le châssis

#### II.6.3.3.2. Calcul de la charge d'impact :

En utilisant la masse projetée du véhicule/conducteur de 185 kg, la force d'impact a été calculée sur la base d'une charge **G de 4**. [10]

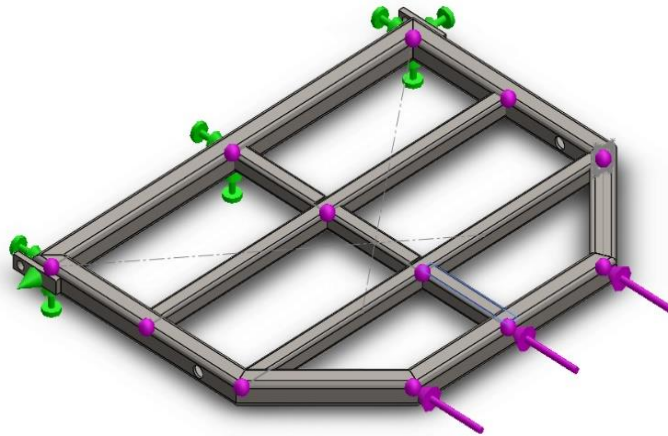
$$\begin{aligned} F &= ma \\ &= 185 \cdot 4 \cdot 9.81 \\ &= 7259,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Temps d'impulsion} &= \text{poids} \cdot (\text{vélocité} / \text{charge}) \\ &= 185 \cdot (40 / 7259,4) \\ &= 1.01 \text{ secondes} \end{aligned}$$

Nous appliquons **7259,4N** depuis l'avant pour l'essai d'impact arrière de la structure de l'arceau de sécurité du véhicule afin de déterminer la résistance au moment de la collision arrière.

### II.6.3.3.3. Chargement :

La charge égale à **7259,4N** est appliquée sur le pare-chocs arrière et le châssis est fixé au centre.



**Figure II.18 :** Chargement sur le châssis

II.6.3.3.4. Résultats de l'étude :

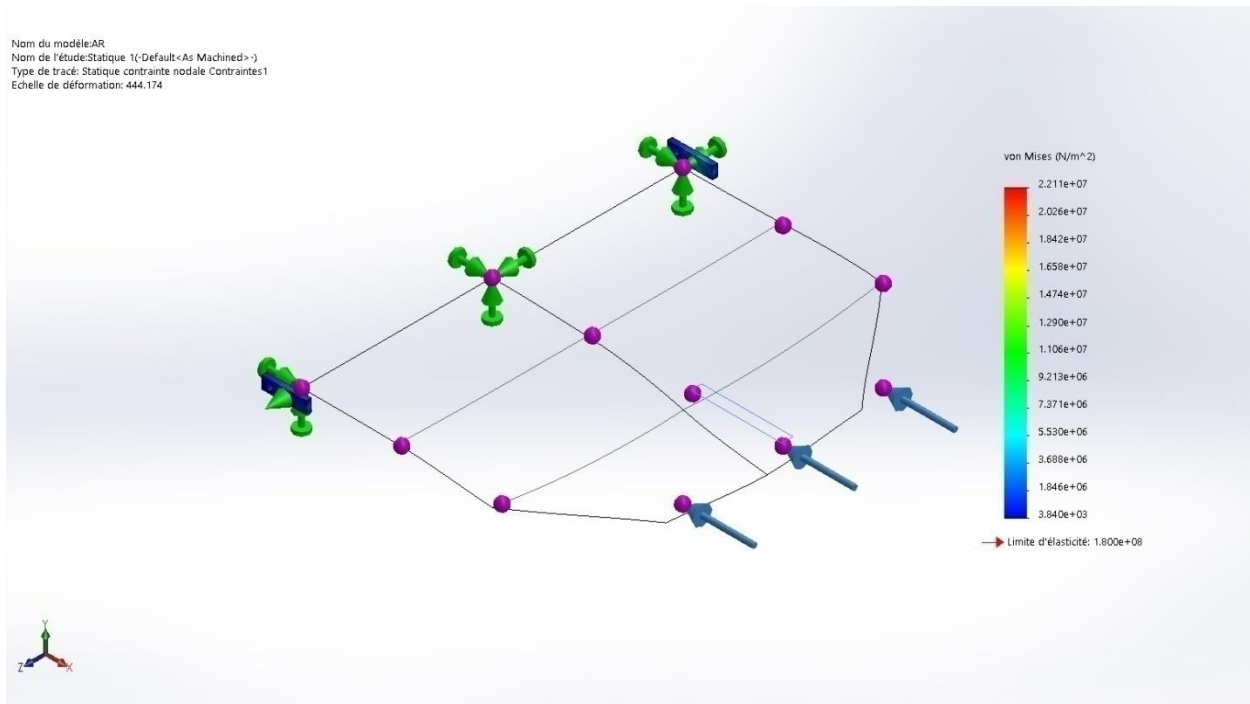


Figure II.19 : Contrainte de Von Messes

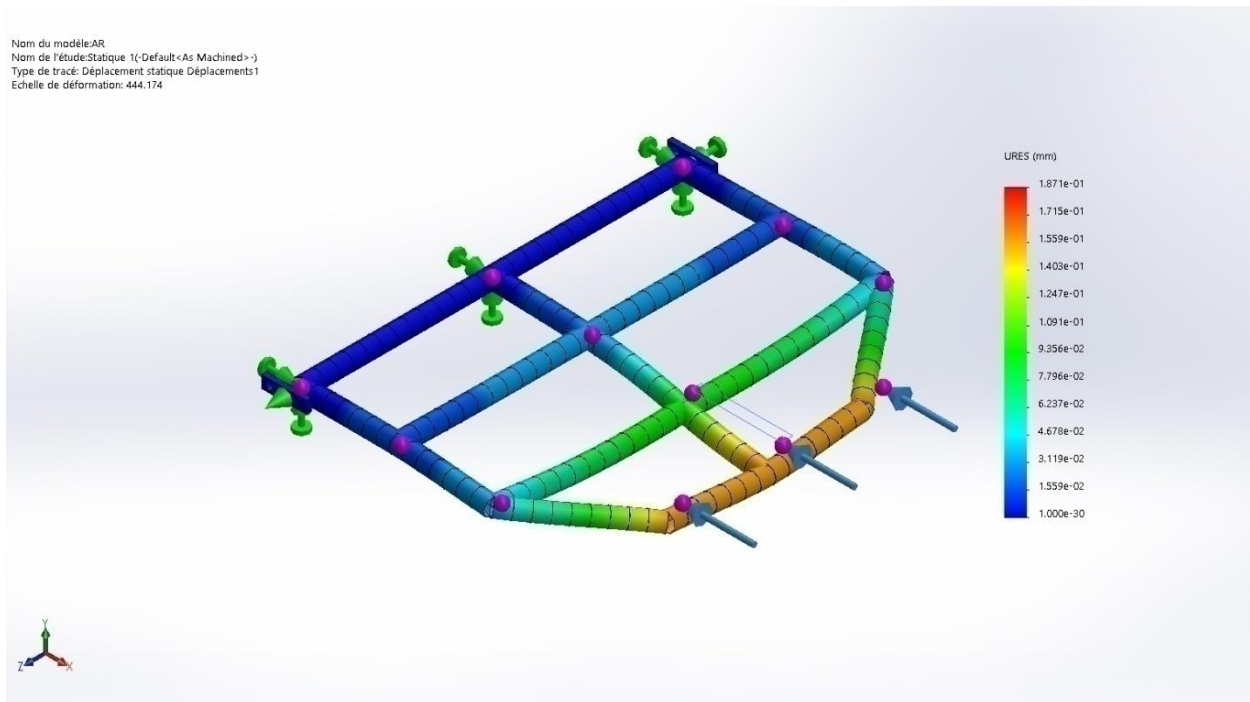
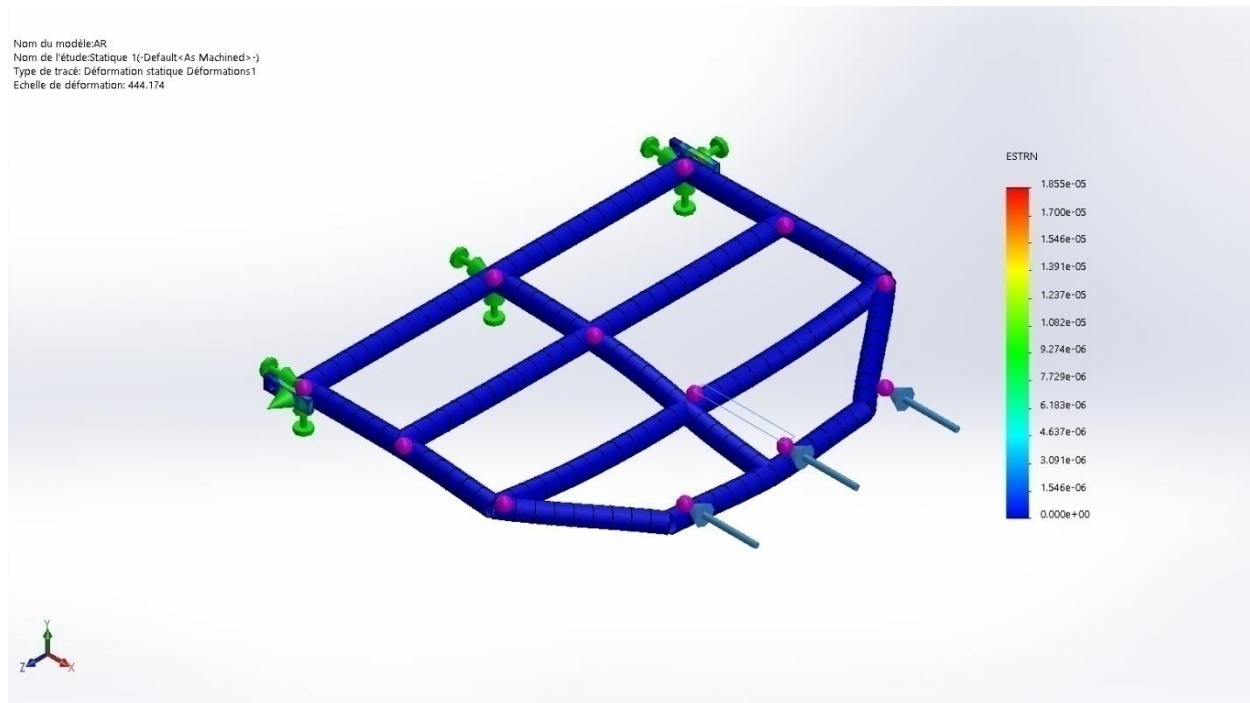


Figure II.20 : Déplacement résultant



**Figure II.21 : Contrainte équivalente**

### II.6.3.3.5. Analyse du châssis en dynamique

Résultats :

#### Contrainte

$$\text{Contrainte maximale} = 1.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 180 \text{ MPa}$$

#### Facteur de sécurité

$$\begin{aligned} \text{Facteur de sécurité incorporé} &= S_{yt}/S_{max} \\ &= 305/180 \\ &= 1.694 \end{aligned}$$

Comme le facteur de sécurité est supérieur à '1', c'est-à-dire que la contrainte de travail est inférieure à la limite d'élasticité du matériau, la conception est donc sûre pour la contrainte spécifiée.[10]

### II.6.5. Résultats et discussion :

La clé d'une bonne conception de châssis est que plus la masse est éloignée de l'axe neutre plus elle sera rigide. Cette phrase est la base de la conception des châssis automobiles.

Cette étude a tenté d'analyser les contraintes sur le châssis à l'aide de l'analyse par éléments finis (**SOLIDWORKS**). C'est important car les données de simulation sont utiles pour l'amélioration de la conception, ce qui permet de réduire les coûts.[9]

Le tableau ci-dessous montre les résultats de toutes les analyses effectuées sur le châssis du E-kart, avec succès :

Analyse	Résultat
Chargement vertical	En sécurité
Impact frontal	En sécurité
Impact arrière	En sécurité
Impact latéral	En sécurité

**Tableau II.3** : Résultats

## II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu la sélection des matériaux utilisés dans la conception du châssis. Ensuite on a vu les différentes études pour s'assurer de la solidité de ce dernier. On a commencé par une étude statique pour s'assurer que notre structure peut supporter le poids du conducteur.

Ensuite on a fait une étude dynamique qui a montré que le véhicule peut supporter une force de 4G à l'avant comme à l'arrière et une force de 2G sur le côté et que la déformation et les contraintes sont dans les limites permises.

# **CHAPITRE III**

## **Commande Du E-Kart**

### III.1 Introduction

Les microcontrôleurs sont de plus en plus répandus. Leur simplicité de mise en place et de programmation fait qu'ils sont utilisés dans des domaines variés allant de l'automobile à l'électroménager. Leur principal atout réside en effet dans leur capacité à communiquer avec le monde extérieur. Très souvent, ces microcontrôleurs sont couplés à des capteurs divers par lesquels ils recueillent des informations. Ces informations sont ensuite traitées puis réutilisées pour manipuler des actionneurs.

Cette capacité à communiquer leur vient des entrées/sorties qu'ils possèdent. Chaque microcontrôleur dispose d'un certain nombre de ces entrées et sorties, souvent de plusieurs types différents. Par exemple l'ATmega.

Ce chapitre présentera les différents organes et les schémas électriques qui permettront de démarrer et commander notre moteur.

### III.2 Les composants électriques

#### III.2.1 Le Microcontrôleur ATmega328

Le microcontrôleur ATmega328. C'est un microcontrôleur ATMEL de la famille AVR 8bits.

Les principales caractéristiques sont :

**\_FLASH** = mémoire programme de 32Ko.

**\_SRAM** = données (volatiles) 2Ko .

**\_EEPROM** = données (non volatiles) 1Ko.

**\_Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien)** = 3 ports PortB, PortC, PortD (soit 23 broches en tout I/O).

**\_Timers/Counters** : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits) Chaque timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM.

(6 broches OCxA/OCxB)

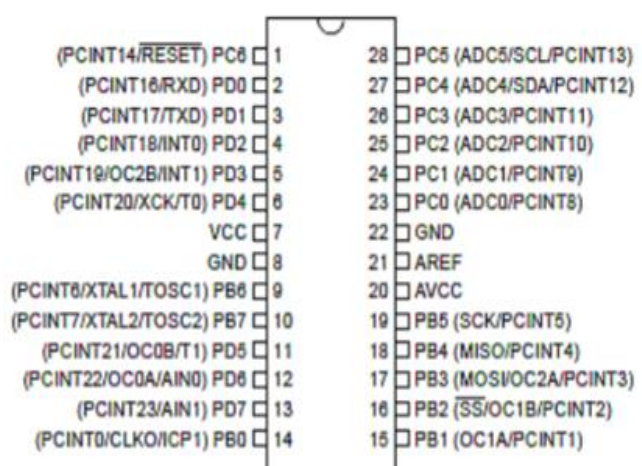


Figure III.1 : ATmega328

**\_Plusieurs broches multi-fonctions** : toutes les broches ont plusieurs fonctions différentes, choisies par programmation. Elles ont donc plusieurs noms sur le brochage.

**Par exemple**, les broches PB1, PB2, PB3, PD3, PD5, PD6 peuvent servir de sortie PWM (Pulse Width Modulation), c'est-à-dire des sorties qui joueront le rôle de sorties analogiques. Elles correspondent aux broches des connecteurs 3,5,6,9,10 et 11. Cet autre rôle possible est lié aux timers et ces broches sont alors appelées OCxA ou OcxB dans la documentation. Ce sont les mêmes broches, mais pour une autre fonction.

**\_PWM = 6 broches OC0A(PD6), OC0B(PD5), OC1A(PB1), OC1B(PB2), OC2A(PB3), OC2B(PD3)**

Les broches du PORTC peuvent être converties par un convertisseur Analog toDigital.

**\_Analog to Digital Converter** (résolution 10bits) = 6 entrées multiplexées **ADC0(PC0) à ADC5(PC5)**.

**\_Gestion bus I2C** (TWI Two Wire Interface) = le bus est exploité via les broches **SDA(PC5)/SCL(PC4)**.

**\_Port série (USART)** = émission/réception série via les broches **TXD(PD1)/RXD(PD0)**.

**\_Comparateur Analogique** = broches AIN0(PD6) et AIN1 (PD7) peut déclencher interruption.

**\_Watchdog Timer programmable.**

**\_Gestion d'interruptions (24 sources possibles (cf interrupt vectors))** : en résumé

- Interruptions liées aux entrées **INT0 (PD2) et INT1 (PD3)**.
- Interruptions sur changement d'état des broches **PCINT0 à PCINT23**.
- Interruptions liées aux Timers 0, 1 et 2 (plusieurs causes configurables).
- Interruption liée au comparateur analogique.
- Interruption de fin de conversion **ADC**.
- Interruptions du port série **USART**.
- Interruption du bus **TWI (I2C)**. [13]



Le composant classique

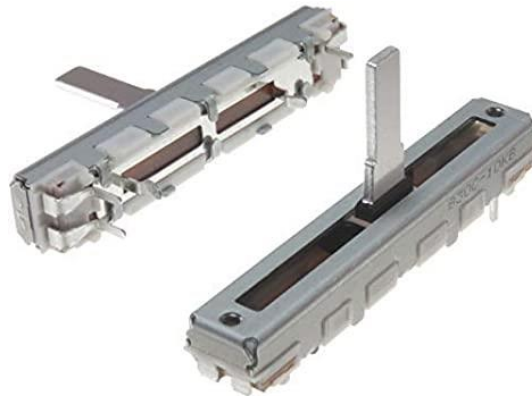


Le composant CMS

**Figure III.2** : Microcontrôleur ATmega328 [13]

### III.2.2. Potentiomètre

Appelé aussi "Résistance variable", et parfois Rhéostat. Le potentiomètre peut être considéré comme une résistance dont on peut faire varier la valeur ohmique entre deux points, par simple action mécanique sur un axe rotatif ou rectiligne. Il est constitué d'une piste résistive sur laquelle entre en contact un curseur mobile, qui peut se promener d'une extrémité à l'autre de la piste.[12]



**Figure III.3 :** potentiomètre à glissière

### III.2.3. Oscillateur à quartz

Un oscillateur à quartz est un élément électronique qui a la particularité de posséder un quartz à l'intérieur qui vibre sous l'effet piézoélectrique. Les propriétés électromécaniques du quartz sont telles qu'on arrive à faire vibrer le quartz à une fréquence très précise. Cet élément aide le microcontrôleur à calculer les données de temps. Sur le dessus du composant, on peut lire 16.000. Cela signifie que la fréquence est de 16 MHz.[14]



**Figure III.4 :** Oscillateur à quartz

### III.2.4 interrupteur poussoir

Le poussoir, aussi appelé bouton poussoir, est un interrupteur qui revient toujours à la même position après avoir été actionné. Ce bouton va nous servir d'un interrupteur d'urgence pour arrêter le moteur en cas de problème. Pour pouvoir revenir à sa position initiale après utilisation, le bouton poussoir est doté d'un mécanisme constitué d'un ressort de rappel. Lorsque vous appuyez, le ressort permet au bouton de revenir à sa place.



Figure III.5 : interrupteur poussoir

### III.2.5 Contrôleurs de vitesse électroniques (ESC)

Electronic Speed Controller (ESC), C'est un circuit électronique conçu pour changer alternativement les tensions des phases et limiter le courant de BLDC (**B**rush**L**ess **D**C motor) Selon la valeur de PWM, La partie puissance du contrôleur est basée par des transistors MOSFETs. La tension d'alimentation du modèle peut varier entre 7.4 et 14.8V.

La façon de l'utiliser est la suivante :

- ✓ Les trois fils de moteur sont connectés aux sorties de ESC.
- ✓ L'entrée d'ESC est connectée à la batterie.
- ✓ Les trois fils rouge, marron et jaune sont connectés aux broches d'arduino 5V, GND, PWM respectivement.

Le principe de fonctionnement d'ESC se base sur le temps d'ouverture  $T_{on}$  (Temps à l'état on « High » dans une période du signal) qui dure de 1 ms à 2ms de fréquence 50 KHz. Plus  $T_{on}$  proche de 2ms, plus le courant traversé n'est grand, l'inverse est vrai.

#### III.2.5.1 Les caractéristiques

- ✓ Tension d'entrée : 5.5V - 12.6 V (2-3 cellules Li-Po).
- ✓ Courant constant: 30A (Max 40A moins de 10 secondes).[15]



**Figure III.6 : ESC 30 A**

### **III.3 Commande d'un moteur BLDC avec la PWM**

Il existe plusieurs méthodes pour contrôler la vitesse d'un moteur à courant continu, mais l'une des plus simples est d'appliquer le Signal PWM (modulation width pulse) sur le moteur.

#### **III.3.1 Le signal PWM (modulation width pulse)**

Le signal PWM est un acronyme anglais qui signifie Pulse Width Modulation ou modulation de largeur d'impulsion (MLI) en français [16]. La modulation de largeur d'impulsion (PWM) est une technique permettant d'obtenir des résultats analogiques par des moyens numériques. La commande numérique est utilisée pour créer une onde carrée. Ce modèle marche-arrêt peut simuler les tensions entre le Vcc complet de la carte (par exemple, 5V sur ATmega) et l'arrêt (0V). La durée du temps d'activation est appelée largeur d'impulsion. Pour obtenir différentes valeurs analogiques, nous pouvons changer ou modifier cette largeur d'impulsion. [17]

#### **III.3.2 Le principe de la PWM :**

L'objectif est de réduire la puissance moyenne délivrée d'une sortie digitale (HIGH ou LOW) en modulant les impulsions du signal. L'objectif est d'avoir un pseudo sorti analogique pouvant pendre 256 valeurs (0 à 255). [16] Le signal PWM est utilisé par exemple pour contrôler la luminosité d'une LED, changer la couleur d'une LED RGB ou encore piloter la vitesse d'un moteur. [16]

#### **III.3.3 Les pôles de la PWM dans Le microcontrôleur ATmega328 :**

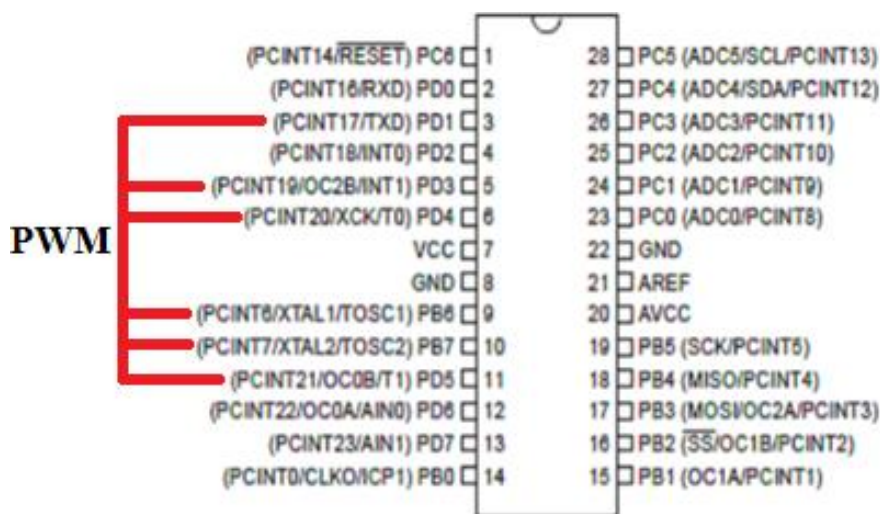
Pour générer un signal PWM avec microcontrôleur, il faut utiliser une broche compatible avec cette modulation du signal. Le microcontrôleur a de nombreux pôles qui sont utilisés comme entrée et sortie, et leur nombre varie en fonction de leurs type [18] Dans le tableau suivant, un

résumé des broches PWM utilisées dans quelque microcontrôleur :

Type de microcontrôleur	Broches disponibles PWM
ATmega328	3,5,6,9,10,11
ATmega168	5,11,12,15,16,17
ATMega32u4	12 ,18,27,29,30,31,32
ATmega2560	1,5,6,7,15,16,17,18,23,24,25,26,38,39,40

**Tableau III.1** : Les broches PWM dans quelque microcontrôleur.

Les pôles PWM peuvent être identifiés par la barre oblique devant le nom du pôle, comme dans la figure suivant :



**Figure III.7** : Les ports sorties PWM dans ATmega328

### III.3.4 Les Avantages de la PWM

Deux avantages ont lieu et qui sont :

- Le moteur peut être piloté par la sortie numérique d'un ATmega.
- Amélioration considérable du rendement énergétique.

### III.3.5 Le rapport cyclique

Le rapport cyclique désigne pour un phénomène périodique, le ratio entre la durée du phénomène sur une période de temps et la durée de cette même période. On parle souvent de rapport cyclique lorsqu'on a un signal rectangulaire.

$$\text{Le rapport cyclique : } \frac{T_{on}}{T} = Ton \times f$$

Tel que :

$T_{on}$  : Temps à l'état on « High » dans une période du signal.

T : période du signal.

f : fréquence du signal.

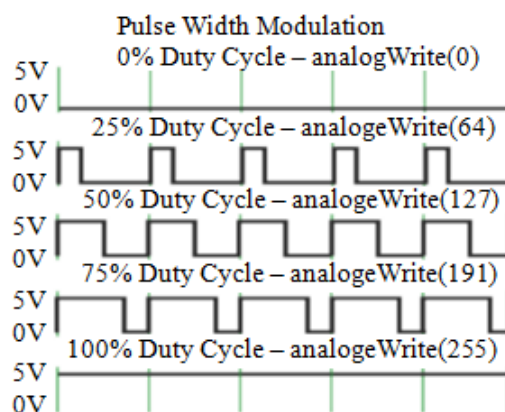
Le rapport cyclique pourra varier de 0% (Tension nulle 0V) jusqu'à 100% (Tension égale à 5V). En revanche, au niveau de l'ATMega, il n'attribuera pas une valeur comprise entre 0 et 100 mais une valeur scalaire entre 0 et 255 (8 bits).

En faisant une règle ou une loi, il est possible de déterminer pour chaque entier (PWM) compris entre 0 et 255 la valeur du rapport cyclique ou la tension moyenne en sortie de l'ATMega :

$$\text{Rapport cyclique} = \left( \frac{PWM}{255} \times 100\% \right)$$

$$\text{Tension} = \text{rapport cyclique} \times 5V$$

La figure suivante montre différents cas possible du rapport cyclique :



**Figure III.8** : Le rapport cyclique

### III.3.6 Différents cas possible du rapport cyclique

PWM = 0 → rapport cyclique = 0% → tension = 0V.

PWM = 33 → rapport cyclique = 10% → tension = 0,5V.

PWM = 64 → rapport cyclique = 25% → tension = 1,25V.

PWM = 127 → rapport cyclique = 50% → tension = 2,5V.

PWM = 191 → rapport cyclique = 75% → tension = 3,75V.

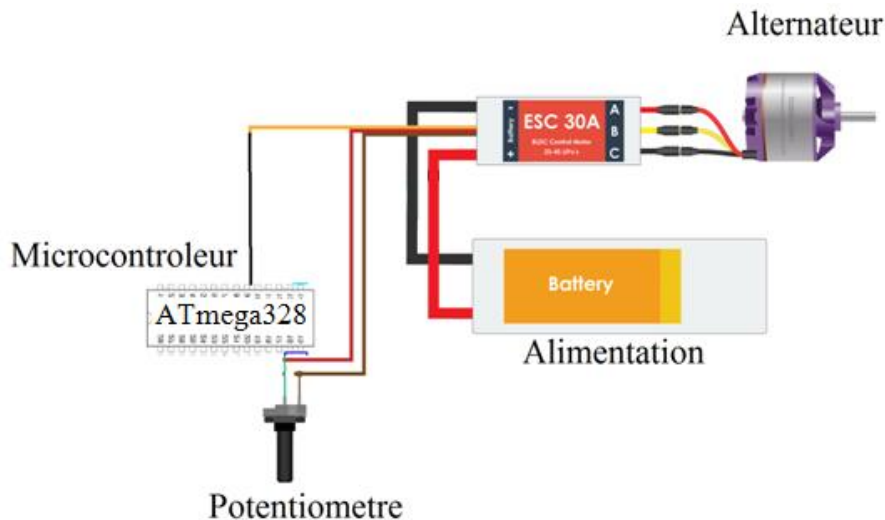
PWM = 255 → rapport cyclique = 100% → tension = 5V.[17]

### III.4 Calibrage et Commande

Dans la partie Isis du logiciel Proteus qui étudie et simulé le schéma électrique on a réalisé notre circuit électrique avec tous les composants de la machine et fait la simulation, ensuite on a écrit notre programme de commande avec MicroC.

#### III.4.1 Schéma électronique

La figure suivante montre un résumé du câblage de la carte à notre ESC.



**Figure III.9 :** schéma électronique de la carte comportant un ATmega328 et l'ESC

#### III.4.2 Description du fonctionnement

Notre programme est le plus simple possible

```

ECS.ino
1  #include <Servo.h> //Using servo library to control ESC
2  Servo esc; //Creating a servo class with name as esc
3  void setup()
4  {
5  esc.attach(1); //Specify the esc signal pin, Here as D8
6  esc.writeMicroseconds(1000); //initialize the signal to 1000
7  Serial.begin(9600);
8  }
9  void loop()
10 {
11 int val; //Creating a variable val
12 val= analogRead(A0); //Read input from analog pin a0 and store in val
13 val= map(val, 0, 1023,1000,2000); //mapping val to minimum and maximum(Change if needed)
14 esc.writeMicroseconds(val); //using val as the signal to esc
15 }
16

```

**Figure III.10 :** le programme intégré dans le microcontrôleur ATmega 328

### **III.5. conclusion**

Nous l'aurons compris, le choix des constituants de notre E-Kart va se faire en fonction du type de commande que nous souhaitons. À partir de là, ils seront étroitement liés. Dans le prochain Chapitre, nous attaquerons ; la conception du E-Kart.

# **Chapitre IV : Fabrication du E-kart**

**IV.1. Introduction**

Avant de commencer le travail nous allons d'abord réunir tout le matériel qu'il nous faut, que ce soit les matériaux de construction ou ceux qui vont être utilisés tout au long du procédé de construction et de montage.

Une fois que cela est fait nous allons schématiser les différentes étapes de travail pour faciliter l'avancé du projet et avoir la meilleure autonomie possible.

Et pour finir nous allons prendre soin de vérifier la solidité des assemblages pour éviter d'éventuelles défaillances (techniques ou électriques) ainsi que la solidité de certains éléments susceptibles d'avoir des contraintes assez élevées.

**IV.2. partie mécanique****IV.2.1. Le châssis****IV.2.1.1. Choix du matérielle**

Pour le choix du matérielle, le but a été de trouver un métal à la fois léger et solide, donc nous avons opté pour l'acier AISI 1010 qui est facilement trouvable dans le marché algérien.

Donc nous avons pris :

- 2 barres rectangulaires de (50\* 30) mm de 6 mètres.
- 1 barre carrée de (30\* 30) mm.
- 1 barre carrée de (20\* 20) mm.
- Une plaque métallique vulcanisée de (2\* 1) mètres.



**Figure IV.1** : type de métal utilisé.

### IV.2.1.2. Partie avant

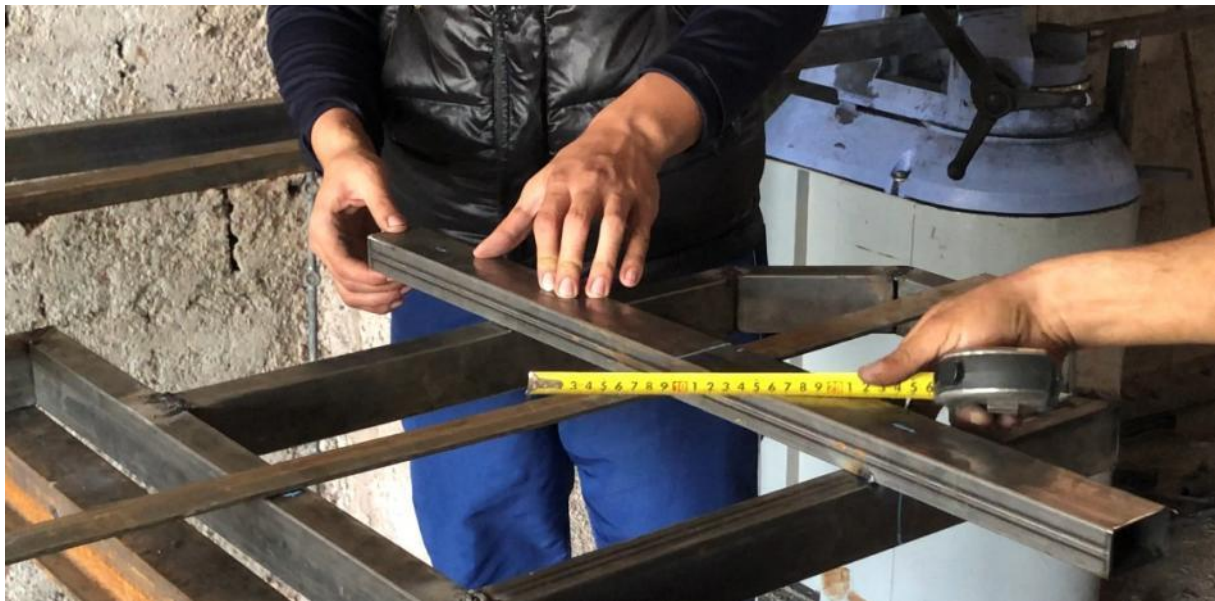
Après avoir modélisé le châssis sur le logiciel SOLIDWORKS, nous avons :

- prédécoupé la dimension dont nous avons besoin (barres de 50\*30 mm)
- assemblé avec de la soudure arc pour ensuite obtenir la base du châssis.
- renforcé le châssis avec des barres de 20\* 20 mm.



**Figure IV.2 :** Construction de la base du châssis.

La partie avant du châssis est traversée par une barre rectangulaire de 50\*30, celle-ci va permettre de soutenir et d'apporter une symétrie aux deux roues avant.



**Figure IV.3 :** Assemblage de la traverse avec l'avant du châssis.

### IV.2.1.3. Partie arrière

C'est une base rectangulaire qui va servir de support pour attacher les roues arrière et être un support pour le moteur, elle va aussi permettre de relier les deux parties du châssis avec deux amortisseurs de chaque côté.



**Figure IV.4 :** Partie arrière du châssis.

#### IV.2.1.4. Assemblage des deux parties

Le but c'est de relier les deux parties du châssis et de faire en sorte que ça puisse plier, nous avons donc choisi d'assembler les deux parties avec des pommelles.



**Figure IV.5 :** Les pommelles permettant au châssis de se plier.

Ces dernières ont été fixées au châssis avec de la soudure arc.



**Figure IV.6 :** assemblage des deux parties du châssis avec les pommelles.

### IV.2.2. Emplacement des roues

#### IV.2.2.1. Roue arrière

- Nous avons commencé par perforé la partie arrière du châssis avec un diamètre de 40mm de chaque coté,
- Créé des bagues sur mesure avec des machines de tournage, celles-ci ont un diamètre extérieur de 40 mm et un diamètre intérieur de 10mm suffisant pour laisser passer les axes pour éviter les jeux.



**Figure IV.7 :** Usinage des bagues des roues arrière.

- ajouté des rondelles en acier de chaque coté et souder le tout pour avoir la fixation la plus solide possible.



**Figure IV.8 :** Accordage des bagues au châssis arrière.

## IV.2.2.2. Roue avant

### IV.2.2.2.1. fourche

Nous avons crée des fourche en "U" en acier d'une épaisseur de 4mm avec des machines spéciales, nous les avons ensuite percé verticalement avec des mèches de diamètre 16mm.



**Figure IV.9 :** Les fourches avant traversées par l'axe.

La fourche va ensuite être centrée et reliée à la barre de soutiens présente sur l'avant du châssis.



**Figure IV.10 :** Assemblage des fourches avec le châssis.

#### **IV.2.2.2.2. Les bague**

Pour les bagues nous avons entamé les étapes suivantes :

- Créer des bagues cylindriques de longueur 70 mm
- Percer ces dernières verticalement avec un diamètre intérieur de 16 mm suffisant pour laisser passer le boulon qui va permettre d'assembler la bague et la fourche.



**Figure IV.11:** les bagues cylindriques.

- Un axe de diamètre de 10mm est ensuite centré et relié à la bague avec de la soudure arc, l'axe va donc traverser la roue et permettre de la soutenir.



**Figure IV.12:** assemblage des axes avec les bagues

**IV.2.3. Suspension****IV.2.3.1. Suspension avant**

Pour la suspension avant nous avons opté pour des ressorts a forte raideur (k) plus souvent utilisé dans les boites a vitesses de voitures.



**Figure IV.13 :** amortisseurs avant.

Ces ressorts vont être disposé au dessus de la bague cylindrique auquel est raccordé l'axe des roues, de façon a ce qu'il puisse se rabattre vers le haut en cas de chocs ou de routes mal entretenues.



**Figure IV.14 :** système d'amortissement avant.

### IV.2.3.2. Suspension arrière

pour la suspension arrière vous avons utiliser des amortisseurs de quad de longueur (260mm) après avoir été reconditionner de façon a ce qu'ils puissent être raccorder au châssis, en effet nous avons utilisé du fer plat d'une épaisseur de 5mm qui a été coupé en petite pièces de 3cm et ensuite percé en diamètre 13mm, celles-ci vont être soudées directement sur le châssis avec un espace de 3cm (un espace suffisant pour laisser passer les deux extrémités des amortisseurs de chaque coté).



**Figure IV.15 :** Amortisseur arrière.

Nous allons donc avoir au final 8 pièces, qui vont être disposées en 4 paires, celles-ci vont servir à maintenir les amortisseurs de ces deux extrémités grâce a des (sillent bloc) et des boulons de diamètre 13mm entre les deux parties du châssis.



**Figure IV.16 :** support amortisseur arrière  
Coté bas.



**Figure IV.17 :** support amortisseur  
arrière coté haut.

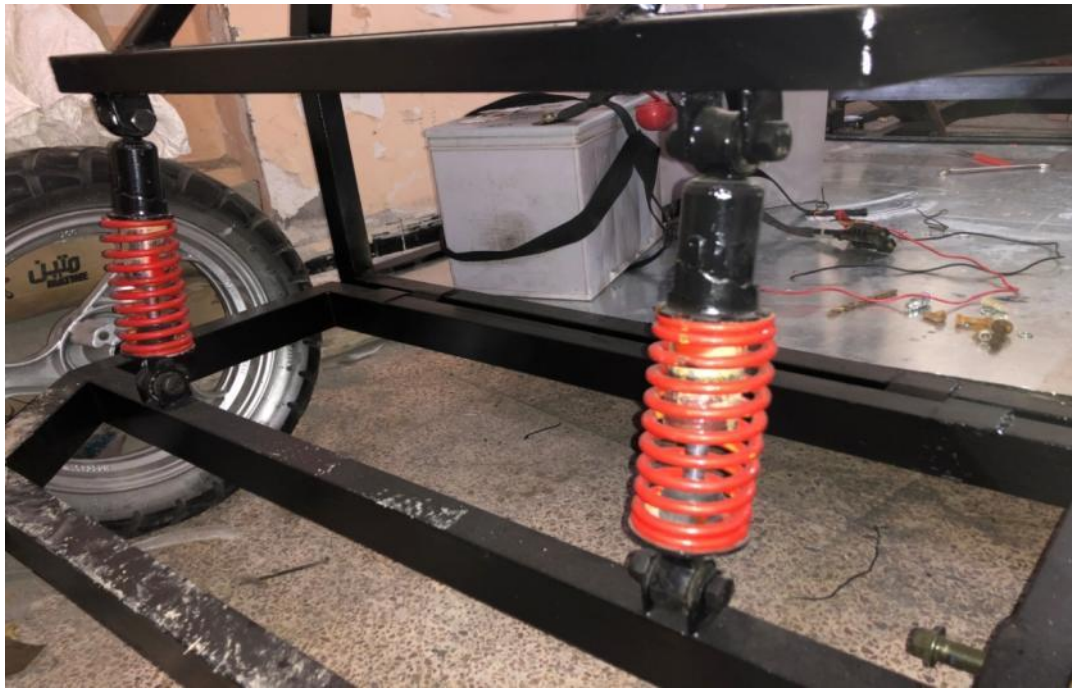


Figure IV.18 : système d'amortissement arrière.

## IV.2.4 Fixation des roues

### IV.2.4.1. Roues avant

Pour la conception des roues avant nous avons entamé les étapes suivantes :

- utiliser des roues par 10 pouces avec des pneus adaptés pour tous les terrain (pistes, goudron, etc....) qui ont été reliée a la bague via des axes et des roulements sur mesure conçus pour avoir la meilleure fluidité possible.
- Ajouter des écrous de chaque cotés de la roue pour maintenir le tout.



Figure IV.19 : Aperçu sur la fixation d'une des deux roues avant.

#### IV.2.4.2. Roues arrière

Pour les roues arrière nous avons opté pour un plus grand diamètre, de 12 pouces.

Ce choix a été fait pour des raisons de symétrie et de répartition de poids car effectivement, la plus grande partie des forces se situe dans la partie arrière du châssis (positionnement du moteur et des batteries, positionnement du siège du conducteur).

Encore une fois, les pneus sont adaptés pour tout type de routes, et peuvent supporter un poids assez conséquent.



**Figure IV.20** : aperçu sur la fixation d'une des deux roues arrière.

Celles-ci sont reliées à la parties arrières du châssis via des axes sur mesures. (les mêmes roulements sont utilisés).



**Figure IV.21** : Aperçu sur l'axe de la roue arrière traversant la bague.

#### IV.2.4.2.1. Les roulements

Les roulements ont été choisis par rapport aux quatres roues et les axes qui vont les traverser, pour cela nous avons choisi les roulements de marque (Scootmoto) qui ont un diamètre intérieur de 10mm, diamètre extérieur de 30mm et une épaisseur de 10 mm.



**Figure IV.22 :** les roulements adaptés aux roues.

Puis ils ont été insérés a l'intérieur des noyaux des roues, toute fois il faut être certain que ces dernies ne vont pas se détacher, donc il faut disposer d'un tube cylindrique qui va venir caller chaque paire de roulements dans chacune des roues.



**Figure. IV.23 :** association, roue, roulement et axe.

### IV.2.5. Freinage

Pour le freinage nous avons utilisé des freins disque, le même système présent sur la majorité des véhicules motorisé, pour cela il nous a fallu:

- Un disque de freins en céramique.
- Un étrier de freins.
- Des plaquettes de freins.
- Une pompe a huile.
- Un récipient pour contenir le liquide de frein.
- Un flexible de 1.80 mètres.

Il est nécessaire de purger le système de freinage en cas de nouvelle utilisation, pour cela il faudra ouvrir la vis de purge présente sur l'étrier et pomper sur la pompe tout en versant le liquide de freinage jusqu'à ce que le flexible soit totalement rempli.



Figure IV.24 : les composants du système de freinage.

### IV.2.5.1. Montage

Pour le montage nous avons fait ce qui suit :

- Fixer le disque sur la roue arrière a l'aide de 3 vis,
- Disposer l'étrier de façon a ce qu'il ne puisse plus bouger grâce a un support qui va le maintenir sur le disque de frein.
- Relier l'étrier et la pompe avec le flexible, celui-ci va servir à faire circuler le liquide entre les deux.
- Enfin, verser le liquide de frein dans le récipient et purger l'air présent dans la pompes jusqu'à ce qu'elle soit opérationnelle.



**Figure IV.25** : montage de la pompe de freinage et récipient liquide.

### IV.2.6. Crémaillère

C'est le dispositif qui va nous permettre de pouvoir diriger les roues a travers le volant et pour cela nous allons avoir besoin de :

- Un volant comportant des boutons.
- Une colonne de direction (longue barre cylindrique).
- 3 tiges rectangulaires de 12 centimètre percé à l'extrémité avec un diamètre de 10mm.
- 2 bras de force (tube plein de diamètre 7mm).
- Un support pour le volant.
- Un support pour la colonne de direction.



**Figure IV.26:**Support colonne direction.



**Figure IV.27:** Aperçu sur les tubes cylindrique.

### IV.2.6.1. Montage

Pour commencer nous avons soudé une tige sur l'extrémité de chacune des deux bagues présentes dans les deux fourches, et celle restante à l'extrémité de la colonne de direction, cela va nous permettre de relier les deux bagues à la colonne de direction avec des bras de force.

Afin d'assembler les bras de force aux tiges présentes sur les bagues, il nous a fallu créer un taraudage intérieure a l'extrémité de chacun des bras de force de diamètre 10mm, puis y insérer des boulons à œil de chaque coté. Cela va nous permettre d'ajuster les boulons selon l'angle que nous désirons.



**Figure IV.28:** Vue sue le taraudage des bras de force.



**Figure IV.29:** Boulons à œil.



**Figure IV.30 :** Aperçu du bras de force associé a la bague cylindrique.

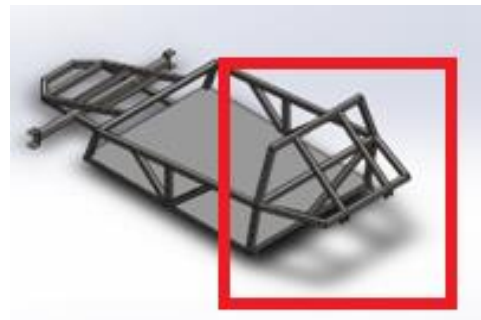
Ensuite, assembler le volant et l'autre extrémité de la colonne avec un système de vis, puis fixer les deux supports qui vont nous permettre d'avoir une meilleur maniabilité et stabilité au niveau de la colonne.



**Figure IV.31** : Aperçu sur l'assemblage des deux bras de force à la colonne de direction.

### IV.2.7. Architecture

Il existe plusieurs modèles d'architecture de voiture, nous avons choisi le plus simple et le plus efficace, inspiré des modèles buggy, cette architecture va nous permettre d'intégrer une suspension et une crémaillère le plus simplement possible.



**Figure IV.32** : L'architecture permettant d'intégrer les suspensions

### IV.2.8. La fixation du moteur

Pour la fixation du moteur, nous avons d'abord pris en compte l'espace nécessaire qu'il faut laisser entre la couronne présente sur la roue et le pignon présent sur le moteur. Une fois que cela a été fait nous procéderons à la fixation du moteur sur la partie arrière du châssis et pour cela il nous a fallu 4 petites pièces que nous avons fait au préalable. Il s'agit de quatre petites pièces rectangulaires qui vont être soudés sur le châssis à leur extrémité et percés avec le même diamètre que celui présent dans les 4 extrémités du moteur et nous allons assembler le tout avec des boulons de diamètre 13mm. Le moteur doit être parfaitement aligné par rapport à la couronne présente sur la roue, dans le cas contraire un déraillement de la chaîne est totalement envisageable.



**Figure IV.33** : Aperçu sur les supports moteur.

### IV.2.9. La transmission

Pour la transmission nous avons essentiellement utilisé 3 composants :

- **Une couronne (sur mesure)** : c'est un plateau mécanique fait sur mesure chez un tourneur professionnel, celui-ci a comme référence (428) et possède 45 dents.
- **Une chaîne de distribution** : référence (428) capable de se rétracter et de s'allonger.
- **Un engrenage moteur (pignon)** : c'est un pignon référence (428) possédant 17 dents.



Figure IV.34: Couronne.



Figure IV.35: Pignon.



Figure IV.36: Chaîne.

#### IV.2.9.1 : Assemblage pignon et moteur

Le pignon est composé d'acier trempé, il est donc difficile de le perforer avec des fraise de tournage, donc il faudra surchauffer le composant pour que l'acier soit moins dense pour pouvoir le perforer et cela en utilisant un chalumeau de coupage.



Figure IV.37: sur chauffage du pignon a l'aide d'un chalumeau.

Une fois que cela est fait nous avons usiné une bague d'un diamètre extérieure égale au diamètre intérieure du pignon, cette bague aura un taraudage identique au filetage présent sur l'axe de rotation du moteur. La bague sera fixée a l'intérieure du pignon avec de la soudure.



**Figure IV.38 :** Assemblage moteur +pignon.

Pour le plateau nous avons utilisé un plateau vierge qui a été rénové de façon à ce qu'il soit adapté à la roue arrière, donc il nous a fallu prendre les mesures nécessaires pour qu'il puisse être parfaitement centré et assemblée à la roue



**Figure IV.39 :** Assemblage de la couronne à la roue.

Pour la chaîne nous allons utiliser une chaîne basique assez large et assez longue pour faire le tour du plateau et de l'engrenage présent sur le moteur, c'est une chaîne de longueur standard nous allons donc mesurer la longueur nécessaire puis le raccourcir jusqu'à ce qu'elle soit sur mesure.

### IV.2.10. L'habitacle

- Découpé une plaque métallique vulcanisé de 103 cm de longueur, 78 cm de largeur et de 3mm d'épaisseur.
- Disposé la plaque sur la base du châssis pour ensuite la fixer en dessus avec 4 boulons de 8mm de chaque coté.

Celle-ci va non seulement servir à renforcer la solidité du châssis mais aussi servir de plateforme pour l'habitacle a l'intérieur du véhicule.



Figure IV.40 : habitacle du véhicule.

### IV.2.11. Le siège

Pour le siège du conducteur nous avons opté pour un siège léger mais assez solide pour supporter le poids du conducteur, un siège également confortable en cuir qui va faciliter le bon déroulement de la conduite.

Celui-ci a été disposé légèrement à gauche de façon à ce qu'il soit directement en face du volant puis il a été fixé sur une barre de soutiens que nous avons déposée au préalable, horizontalement sur la base du châssis. Cela va permettre d'ajuster le siège selon ses envies.



Figure IV.41 : Fixation du siège sur le châssis aux deux supports.

Le siège est fixé sur cette barre avec des goujons de 12mm de chaque coté, ainsi il aura la meilleur stabilité possible.



**Figure IV.42** : Dispositions du siège sur le châssis.

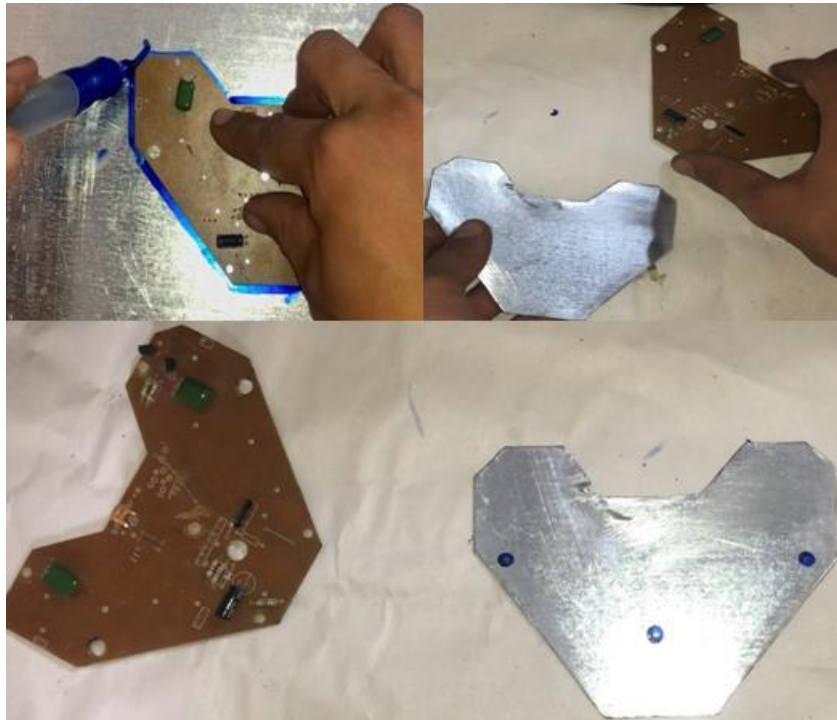
#### **IV.2.12. Le volant**

Nous avons choisi un volant d'accessoire pour jeux vidéo, car celui-ci contient des boutons qu'on va utiliser par la suite pour la partie électrique.



**Figure IV.43** : volant.

C'est un volant intégralement en plastique mais assez résistant quand même, nous avons commencé par l'ouvrir et récupéré les dimensions de la carte électronique pour pouvoir la reproduire avec une plaque métallique.



**Figure IV.44 :** Support volant, colonne de direction.

Celle-ci va servir de support pour intégrer le volant à la colonne de direction et cela avec des vis pour fixer la plaque au volant et de la soudure pour assembler la colonne de direction a la plaque.



**Figure IV.45:** Support du volant

Une fois que c'est fait nous avons créé le support qui va maintenir le volant au châssis avec une bague de diamètre intérieur de 30mm qui a été usiné avec des machines de tournages, puis nous l'avons encastrer dans la partie plastique de la colonne de direction et relier directement au châssis avec des barre en acier de 20\*20 mm avec de la soudure.



**Figure IV.46:** supporte du volant associé a la colonne de direction.

## **IV.2.13. FINITION ET ESTHETIQUE**

### **IV.2.13.1. Choix de peinture**

Pour la peinture nous avons d'abord choisi de recouvrir l'intégralité du châssis avec de l'antirouille, en prenant soin de recouvrir les moindres recoins et cela en appliquant 2 couches au lieu d'une seule, une fois que cela est fait, nous l'avons laissé reposer 48 heures.



**Figure IV.47 :** application de l'antirouille sur le châssis.

Une fois séchage total de l'antirouille, une peinture (black 39) a été appliquée avec un compresseur (une seule couche).



**Figure IV.48 :** applications des différentes teintes de peinture.

Nous avons choisi de recouvrir quelques pièces du véhicule avec de la peinture rouge pour donner quelque nuance et reflets a celui-ci.



**Figure IV.49:** vue d'ensemble sur le résultat final de l'application de la peinture.

**IV.2.13.2. La Calandre**

Pour la calandre nous avons utilisé un tube de 16 mm et deux barre carre de 20\*20 mm, cela va donner un aspect plus esthétique au véhicule.



**Figure IV.50** : Matériaux de composition de la calandre

Le tout a été soudé et peint avec du rouge.



**Figure IV.51** : Résultat de la calandre après soudage.

**IV.2.13.3. Le Capot**

Pour le capot nous avons utilisé une feuille vulcanisé qui a été plier après avoir pris les bonnes mesures du véhicule et cela en utilisant des machines industrielles spécialisées dans le pliage de tôles.



**Figure IV.52** : Procédé de fabrication du capot.

Le capot se compose de deux parties, la première est disposée horizontalement au dessus de la crémaillère pour cacher le mécanisme et avoir un aspect un peu plus esthétique.

La deuxième est disposée d'un angle de 45 degré entre la première partie et la limite du volant, cela donne à la voiture un aspect aérodynamique.

Les deux parties ont été assemblées avec des vis, et fixées au châssis avec des boulons de diamètre 8mm.

Après avoir terminé l'assemblage nous allons recouvrir l'intégralité du capot avec du film noir carbone d'une épaisseur de 1 mm, cela va non seulement protéger le capot mais aussi apporter une touche esthétiques sobre et élégante.



**Figure IV.53** : papier Carbonne utilisé pour le capot.

Puis nous allons recouvrir les extrémités avec du cache joints chromés pour dessiner les formes du capot



**Figure IV.54** : Résultat final du capot après application du film et du cache joint.

#### IV.2.13.4.L'insigne

Pour l'insigne nous sommes partie sur la composition de deux éléments : 'mécanique' pour designer la mécanique assez simpliste du véhicule, Et 'électrique' pour designer la motorisation du véhicule.



**Figure IV.55** : Modélisation de l'insigne.

Donc nous avons opté pour un pignon pour le côté mécanique, et un arc électrique pour le côté électrique.



**Figure IV.56** : Résultat de l'insigne après modélisation.

**IV.2.13.5. La Moquette**

Après avoir prédécouper une moquette de la même mesure que la plaque métallique servant de base du châssis, nous l'avons disposé au dessus pour cacher les imperfections et donner un aspect plus sobre.



**Figure IV.57 :** Moquette pour sol d'habitacle.

**IV.2.13.6. La manette de bord**

Afin de regrouper toute les commandes du véhicule, nous avons opté pour une manette de commande, celle-ci est en forme de boite où l'ensemble des éléments électroniques et boutons y sont disposés.



**Figure IV.58 :** Boite comportant la manette de commande.

- Prendre les mesures nécessaire et créer la boîte en question.
- Prendre soin de bien disposer les boutons pour qu'ils soient facilement accessibles sur la partie du dessus.
- Mettre un ventilateur sur la partie latérale afin de bien ventiler tout les composants susceptibles de surchauffer.



**Figure IV.59** : Manette de commande.

#### **IV.2.13.7. Les feux**

Pour l'éclairage avant, un choix de feux LED de marque (Motocycle) a été fait, c'est des feux puissant capable d'éclairer jusqu'à 50 mètres, ils ont des supports assez maniable, ce qui va nous permettre de les manipuler a notre guise.



**Figure IV.60** : Feux avant (LED).

Celle-ci ont été disposé a lavant du capot a ses deux extrémités.

### IV.3. PARTTIE ELECTRIQUE

#### IV.3.1. Le moteur DC

Le moteur utilisé c'est un alternateur 50-110A 14v que nous avons modifié :

- ouvrir l'alternateur et enlevé le régulateur.
- enlever le pont redresseur.
- remplacer les vieux charbons par des neuf et connecter deux fils a leur extrémité.



**Figure IV.61 :** alternateur Renault 14V 50-110a modifier de



**Figure IV.62 :** les composant a l'alternateur

L'alternateur est configuré en triangle, cette configuration est idéal pour notre moteur, nous avons donc rallongé les trois extrémités des phases pour faciliter le travail.



**Figure IV.63 :** alternateur modifier en moteur

### IV.3.2. La pédale d'accélérateur

Pour faire varier la vitesse de rotation du moteur (le déplacement du véhicule) tout simplement nous avons utilisé un potentiomètre à glissière, celui-ci va nous permettre de faire varier la tension qui passe vers le moteur de façon très précise et cela en appuyant sur la pédale, celle-ci est composée d'un potentiomètre et d'un ressort qui sont assemblés de façon à ce que ça fonctionne comme pour la pédale classique de voiture, c'est-à-dire, plus tu appuies sur la pédale plus le potentiomètre laisse passer plus de tension et inversement proportionnelle.



Figure IV.64 : Potentiomètre à glissière.

### IV.3.3. Le Contrôleur de vitesses électronique (ESC)

C'est un circuit électronique conçu pour changer alternativement les tensions des phases et limiter le courant du moteur.

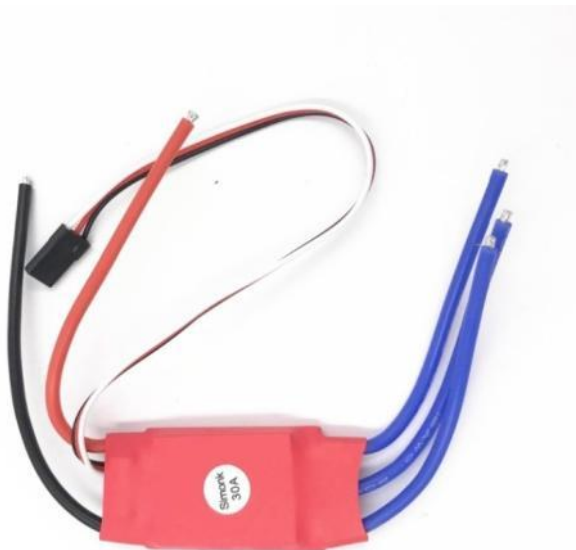


Figure IV.65 : ESC 30 A

### IV.3.4. Le ventilateur

C'est un petit ventilateur qui est alimenté avec une tension de 5V, il est utilisé pour refroidir les composants qui surchauffent (ESC 30A) et éviter qu'elles brûlent.



Figure IV.66 : ventilateur 5V

### IV.3.5. La carte électronique

C'est une carte équipée d'un microcontrôleur ATmega 328 qui va nous permettre de commander notre E-Kart.



Figure IV.67 : Carte de commande

### IV.3.6. Les batteries

Nous avons utilisé une batterie de 12V pour alimenter l'ESC et une autre de 6V pour alimenter l'induit (les charbons), celle là va être suffisante pour faire tourner le moteur sans pour autant l'endommager.



Figure IV.68 : Batterie 12V



Figure IV.69 : Batterie 6V

### IV.4. Le branchement

Le branchement est comme suit :

- La batterie 12V va alimenter l'ESC30A qui lui va alimenter les trois phases du moteur, et il va aussi alimenter la carte de commande.
- La carte va nous permettre d'alimenter le ventilateur 5V et aussi de brancher notre potentiomètre.

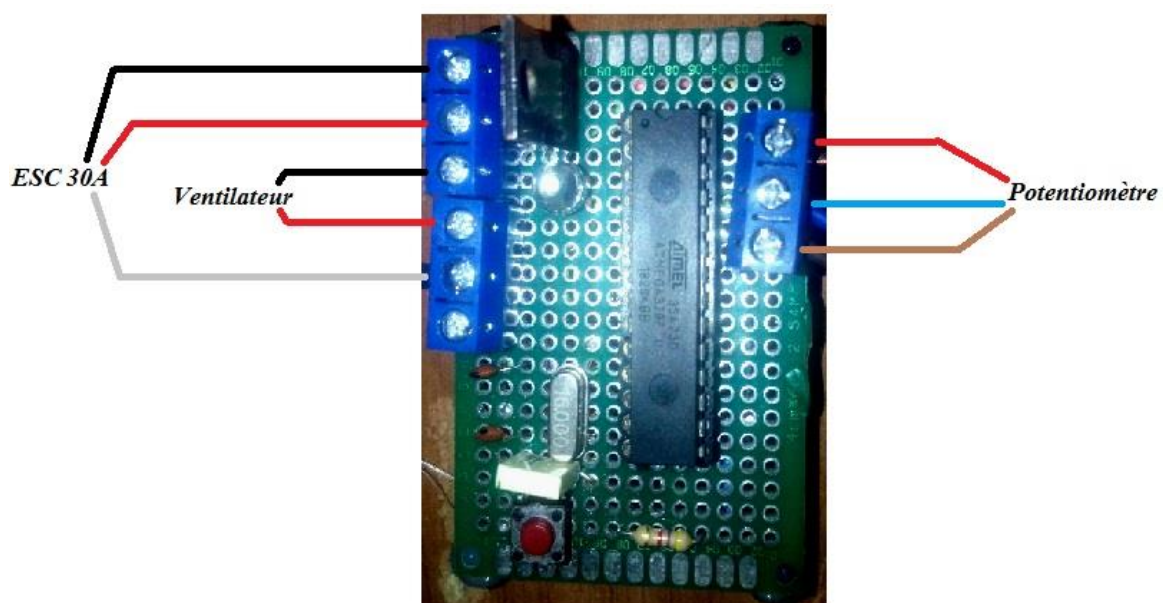
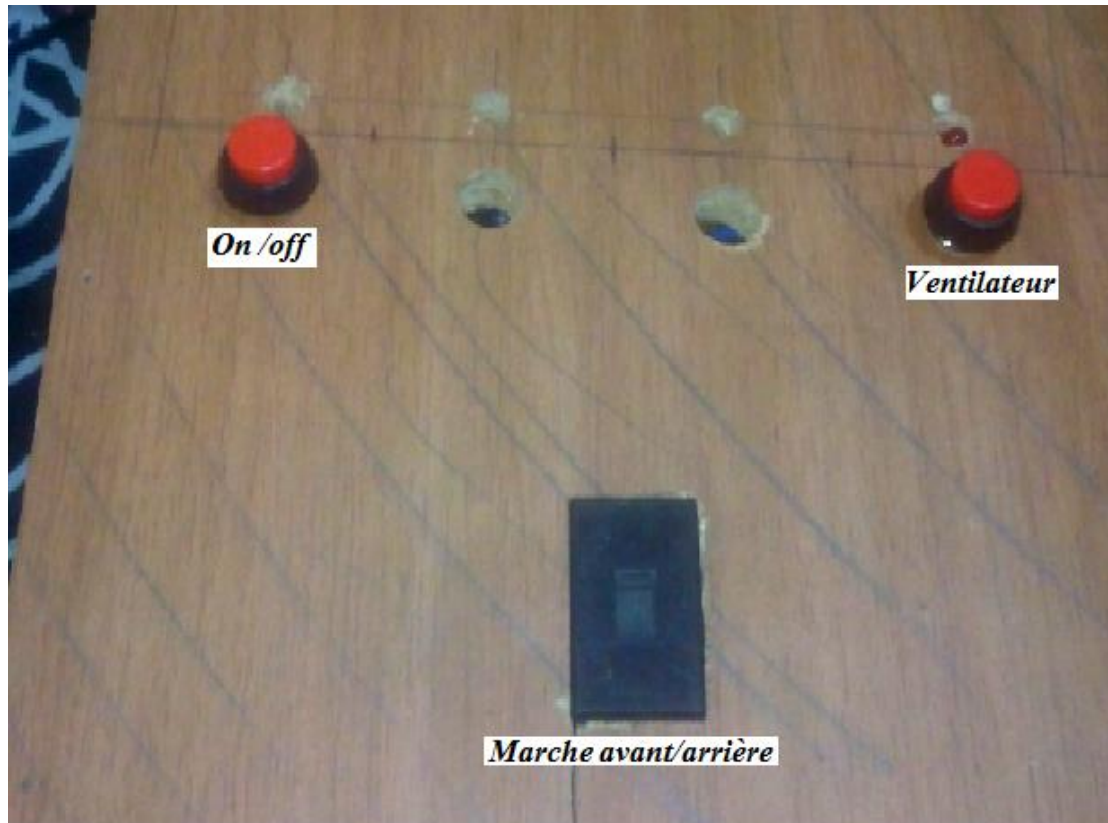


Figure IV.70 : Branchement de la carte de commande

- La batterie 6V va alimenter l'induit (si tout est alimenté avec la même tension, le moteur va être saturé).
- A la fin nous avons ajouté des boutons poussoir pour l'allumage, et des LED pour l'indication et aussi un interrupteur pour la marche avant et arrière.



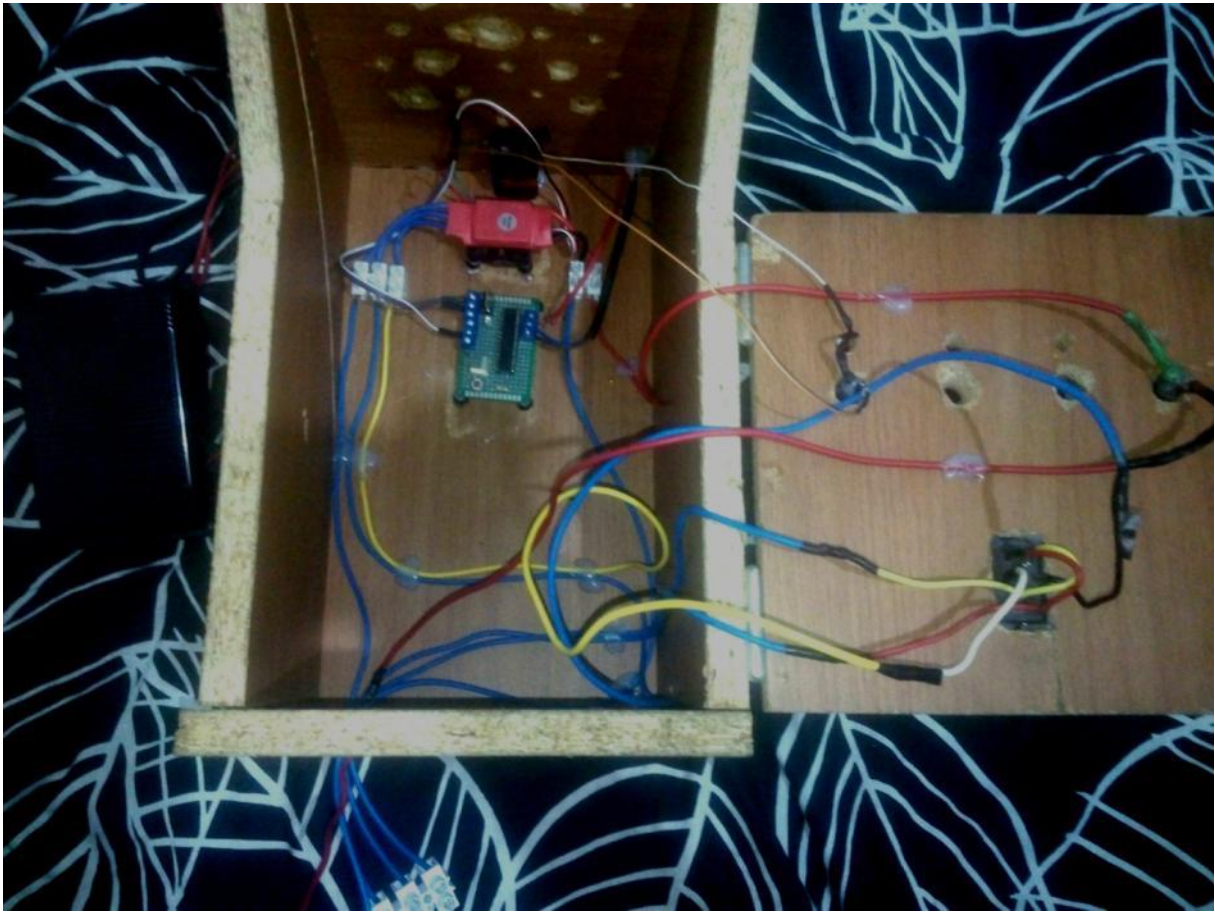
**Figure IV.71** : Les boutons de commande

Ensuite nous avons fixé le ventilateur sous l'ESC pour éviter qu'il surchauffe.



**Figure IV.72** : Fixation du ventilateur sous l'ESC

Et le tout a été assemblé dans la Manette de commande.



**Figure IV.73 :** L'assemblage dans la Manette de commande.

**IV.5. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons pu constater les différentes étapes de la conception d'un E-kart, en commençant par le découpage et l'assemblage du châssis, ensuite nous nous sommes concentrer sur la suspension et tout ce qui est amortissements et roues, en passant par la fixation du siège, du freinage et de l'habitacle. Par la suite nous avons pris soin d'intégrer le moteur tout en prenant compte de tous les composants (mécaniques et électriques) et tous les calculs nécessaires, et nous avons finis en se penchant vers la touche esthétique afin de donner un bel aspect et une bonne présentation au véhicule avec une base noir et des nuances rouges.



**Figure IV.74 :** Aperçu sur l'ensemble du véhicule.

## Budget du projet

Cette section concerne le coût du projet. Le coût total comprend le coût des composants individuels, de leur coût de fabrication et du coût de l'assemblage ou de la main-d'œuvre. La somme de ces coûts s'élève à environ 70,000 DA. Le tableau suivant présente le budget :

pièces	Nombre d'article	fournisseur	Prix (DA)	
Acier "aisi1010"	2Bare (5x3), 1bare(3x3), 1bare (2x2), 1plaque	Slimane Ouali vendeur de feraille DEM	9000	
Petit barre d'acier	4		450	
Roue avant	2	La case des motociclettes chez FARES 'rue STITI ALI-Tizi Ouzou'	3000	
Roue arrière	2		6000	
Chambre à air	4		2600	
Amortisseur	2		1500	
siège	1		3500	
Fourches	2		1000	
Les pommelles	2		650	
cherteto	1	Quincaillerie Meziane Arhab DEM	50	
Ressors	2		400	
Ethan	1m		150	
Les rondelles	4		60	
Papier ver	3		530	
Des gans	1			
Disque de la transennes	1		1490	
Boulon, Erou, rondel, vis, ...stc				
Tige de soudage	25		250	
Peintures	5		1380	
Entier rouille, pinceau	1		570	
Alternateur 'moteur'	1		La case des voitures 'Tizi Ouzou'	6500
charbon	2		Pièce détacher auto 'Tizi Ouzou'	100
Support d'amortisseur	2		400	
Pédale potentiomètre	1		2300	
Bouton on/off	3	Power Tech 'BLIDA'	150	
Carte électronique	1		250	
Pille 9V	1		200	
Essence		NAFTAL DEM	170	
plateus	1	VENTE & REPARATION MOTOS 'annar amallal vers bouhinoune- Tizi Ouzou'	2200	
pignon	1		300	
La chaine	1		800	
etrier	1	Magasin moto stor DZM	1200	
La pompe	1		1300	
flexible	1m		950	
roulement	2		600	
un axe	1		1200	
Feux avant (LED)	2			
Batterie 6V		Kario informatique el hamiz	2400	

pièces	Nombre d'article	fournisseur	Prix (DA)
Cache loint	1m		660
Papier carbon	1m		
Mrker	1		50
Papier adhésif	1m		150
<b>Total</b>	<b>54460</b>		

**Tableau 1 :** tableau des prix de chaque pièce

la main-d'œuvre	le fabricant	Prix (DA)
soudeur	Dahmani Omar	5800
Entretien des roues	Charef Brahim	3800
tourneur	Kaci Rabah	4700
Tôlier	Gormit Smail	500
menuisier		500
Vulcanisateur		200
<b>Total</b>	<b>15500</b>	

**Tableau 2 :** tableau du cout d'usinage des pièces

# Diagramme de Gantt

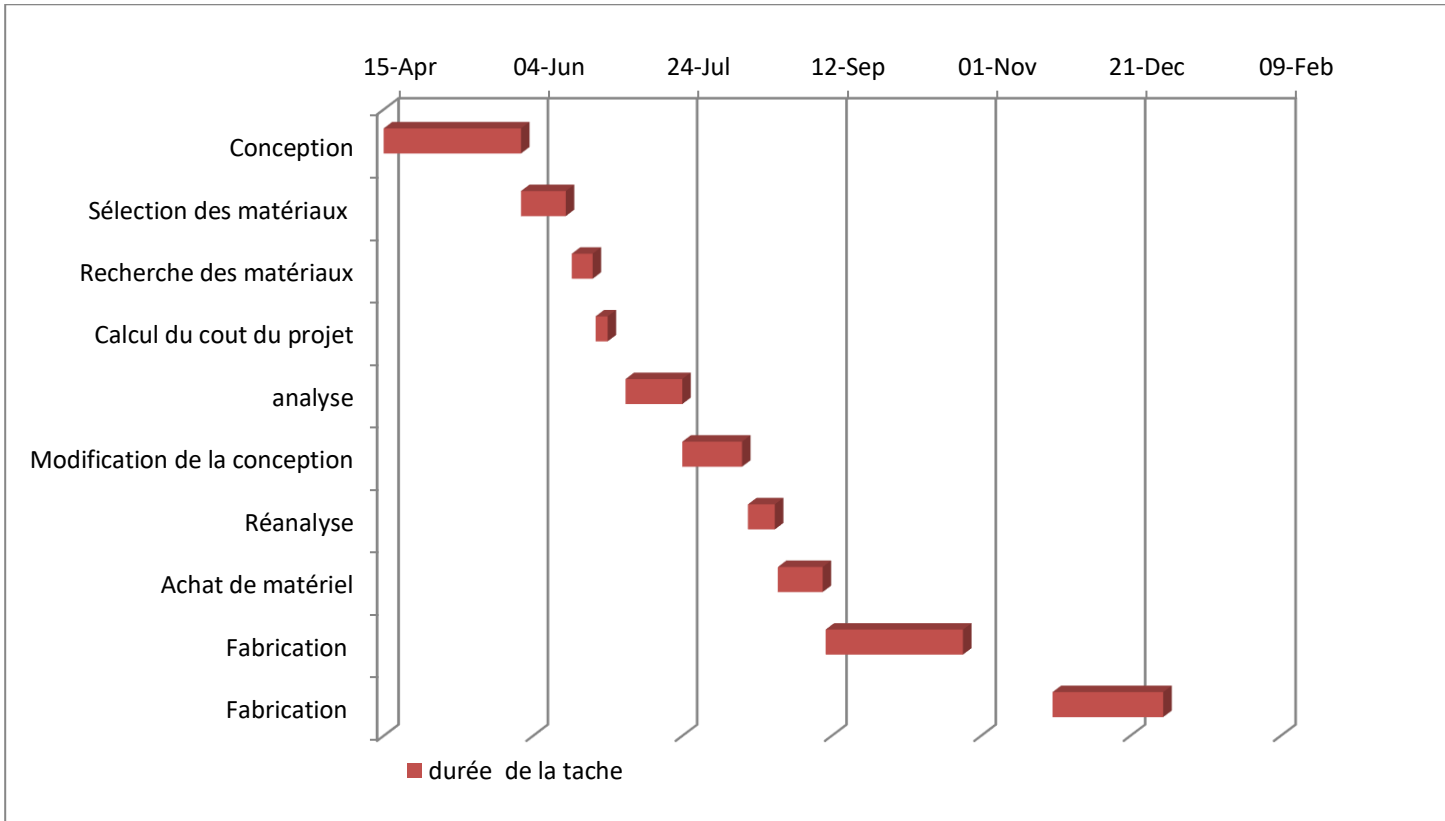


Figure IV.75 : diagramme de gantt

# **CONCLUSION GENERALE**

## **Conclusion générale :**

Ce présent travail de la conception d'un E-kart en vue de traiter et expérimenter toutes les différentes étapes qui mènent à l'obtention d'un véhicule électrique écologique et adapté pour la route.

Ce présent mémoire se compose de quatre chapitres traitant respectivement des différentes introductions aux véhicules électriques, de la conception et de l'étude d'un châssis du E-kart, des composants, schéma et commande électrique et pour finir la conception et la fabrication du E-kart.

Après avoir cerné l'aspect théorique et maîtriser tous les outils de travail dont nous avons besoin, à savoir SolidWorks et ANSYS et après avoir obtenu un résultat de simulation fiable et robuste, nous avons établi un plan de travail efficace et opérationnel décrit dans le chapitre quatre.

Le châssis du E-kart a été conçu en utilisant les principes de base de l'automobile en se basant sur la thématique d'analyse en utilisant les méthodes des éléments finis pour connaître son efficacité. De nombreux défis ont été relevés tout au long du processus de conception. Le point le plus culminant est celui de la non disponibilité des pièces, donc nous avons été obligé d'improviser tout au long du cheminement de ce travail. Beaucoup de pièces ont été usinées sur mesure afin de donner au véhicule la meilleure symétrie possible, en passant par les bagues, les axes ou encore les boulons, cela a généré des frais budgétaires supplémentaires inattendus et par conséquent une perturbation au niveau de la conception. Le choix du moteur pour obtenir le couple de démarrage et la vitesse de pointe requise a été une tâche difficile aussi, car finalement un alternateur converti en moteur BLDC de 14V 50/110A a été sélectionné et cela a cause de l'absence total des moteurs a courant continue en Algérie, nous avons donc mené des études théoriques et expérimentales pour rendre le E-kart plus efficace et plus performant.

Le système de transmission composé de la chaîne de distribution, du pignon ainsi que de la couronne mécanique choisie est considéré comme un coup de maître car effectivement dans l'industrie automobile la transmission est l'un des principaux défis à surmonter.

Enfin, une conception efficace pour le E-kart a pu être réalisé, Celui-ci peut rouler dans tous les terrains, Le véhicule conçu est solide, durable, léger et sa construction ne coute pas cher, cela sans oublier le point le plus intéressant, celui de l'écologie, car, effectivement, c'est un

véhicule qui ne pollue absolument pas et qui ne consomme pas beaucoup d'énergie. Car celui-ci est totalement électrique.

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'avoir une perspective sur le domaine de la modélisation et conception automobile dans le milieu industriel, de connaître et de maîtriser les différents outils et logiciel de modélisation, à savoir SolidWorks et ANSYS, d'acquérir plus de savoir dans le domaine de l'électronique et la programmation physique en utilisant les programmes ISIS PROTEUS et Micro C, d'optimiser l'utilisation du matériel industriel, et d'acquérir de l'expérience dans certaines branches tel que la sondage, la tôlerie et le tournage, et grâce à tout cela nous avons pu faire une étude rigoureuse en se basant sur des recherches scientifiques tout en essayant de s'adapter aux difficultés qu'on a rencontré durant le cheminement du travail, car la curiosité est un charmant défaut.

Cette présente étude ouvre la voie sur des perspectives intéressantes, à savoir les différentes études qu'il faudra adopter lors de la modélisation et conception d'un véhicule électrique, de toute les architecture des châssis, de types de suspension et de technique de motorisation et transmission possibles, la recherches des matériaux nécessaires, l'expérimentation des différentes branches industrielles. Tous ces points nous ont permis de nous rapprocher encore plus du domaine de l'industrie et d'acquérir une expérience et un œil nouveau sur l'électromécanique à travers ce travail.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

- [1]<https://www.motosport.com/blog/fun-facts-atv-history>
- [2]Boucha ABDELLAH, Réalisation et commande d'un véhicule électrique par dSpace embarqué, Mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran. 19 octobre 2015.
- [3]<https://controversevoitureelectrique.wordpress.com/le-debat/innovations-techniques-depuis-les-debuts-de-la-voiture-electrique/>
- [4]<http://www.sigma-tec.fr/elec/avantages-vehicule-electrique.html>
- [5]<https://www.ecoconso.be/fr/content/voiture-electrique-ses-avantages-et-inconvenients>
- [6]<https://www.g2mobility.com/advantages-of-electric-vehicles/?lang=en>
- [7]S. Meziani, A.Bourenane, Contrôle par logique floue d'une chaîne de traction d'un véhicule électrique basé sur une machine asynchrone à double alimentation, Mémoire de master, Université Abderahmane Mira Bejaia, 2013.
- [8]<http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>
- [9]<https://core.ac.uk/reader/55305150>
- [10]Gautam Yadav, Dhananjay Aakash Ahlawat, Gaurav Gulia, "GO KART DESIGNING AND ANALYSIS", JIAATS-JCME, Vol-15, ISSN-3347-4482, November 2014.
- [11][https://www.youtube.com/watch?v=BOgKp5jEeHo&ab\\_channel=CreativeChannel](https://www.youtube.com/watch?v=BOgKp5jEeHo&ab_channel=CreativeChannel)
- [12]<http://for-ge.blogspot.com/2015/07/potentiometre.html>
- [13] <http://perso-laris.univ-angers.fr/~delanoue/polytech/microcontrolleur/ArduinoCottenceau19-20.pdf>
- [14]<https://bentek.fr/2-arduino-uno/#>
- [15]<https://dspace.univ-bba.dz/bitstream/handle/123456789/1046/Conception%20et%20r%c3%a9alisation%20d%e2%80%99un%20mini%20drone.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16]<https://tutoduino.fr/blog-PWM>
- [17]<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/foundations/PWM>
- [18]<https://electrotoile.eu/c-est-quoi-la-PWM-avec-arduino.php>
- [19]<https://ecom.eraspares.fr/ec/TabelloneRicercaNew.asp?TR=RCR&CodOrig=2542664D>
- [20]<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6539>

[21]<http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-730-fonctionnement-d-un-alternateur.php>

[22]<http://blog.seatronic.fr/fiches-pratiques/energie/production/alternateur/principe/>

[23]<https://www.avery-france.org/les-moteurs-de-vehicules-electriques/>

[24]<https://www.amazon.fr/260mm-Shock-r%C3%A9glable-Compatible-Pitster/dp/B08CT85Q2D>

## Liste des annexes

<b>N° d'annexe</b>	<b>Intitulé</b>
01	Composition des matériaux
02	Analyse fréquentielle
03	Calibrage des ECS
04	Spécifications du moteur
05	Description des amortisseurs

## Annexe 1

### Composition des matériaux [20]

L'acier au carbone AISI 1010 est un acier au carbone ordinaire dont la teneur en carbone est de 0,10 %. Cet acier a une résistance relativement faible mais il peut être trempé et revenu pour augmenter sa résistance.

La fiche technique suivante fournit plus de détails sur l'acier au carbone AISI 1010.

#### Composition chimique

Element	CONTENT (%)
Iron, Fe	99.18-99.62%
Manganese, Mn	0.30-0.60%
Sulfur, S	≤0.050%
Phosphorous, P	≤0.040%
Carbon, C	0.080-0.13%

#### Propriétés physiques :

Les propriétés physiques de l'acier au carbone AISI 1010 sont décrites dans le tableau suivant.

Properties	metric	imperial
density	7.87 g/cm <sup>3</sup>	0.284 lb/in <sup>3</sup>

#### Propriétés mécaniques :

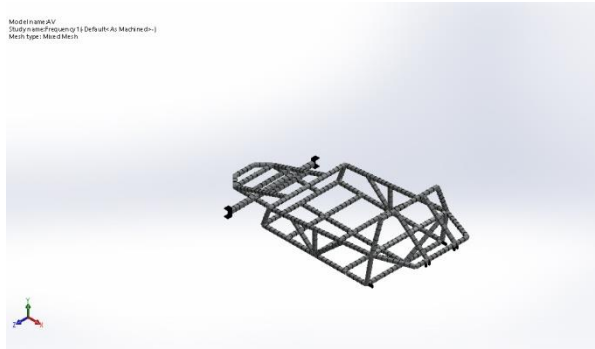
Les propriétés mécaniques de l'acier au carbone AISI 1010 étiré à froid sont présentées dans le tableau ci-dessous.

properties	metric	Imperial
Tensile strength	365 MPa	52900 psi
Yield strength (depending on temper)	305 MPa	44200 psi
Elastic modulus	190-210 GPa	27557-30458 ksi
Bulk modulus (typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Shear modulus (typical for steel)	80.0 GPa	11600 ksi
Poisson's ratio	0.27-0.30	0.27-0.30
Elongation at break (in 50 mm)	20%	20%
Reduction of area	40%	40%
Hardness, brinell	105	105
Hardness, knoop (converted from brinell hardness)	123	123
Hardness, Rockwell B (converted from brinell hardness)	60	60
Hardness, Vickers (converted from brinell hardness)	108	108
Machinability (based on AISI 1212 steel as 100) machinability. The machinability of group I bar, rod, and wire products can be improved by cold drawing)	55	55

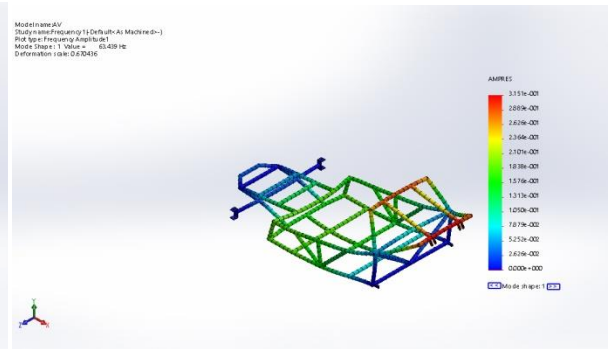


# Annexe 2

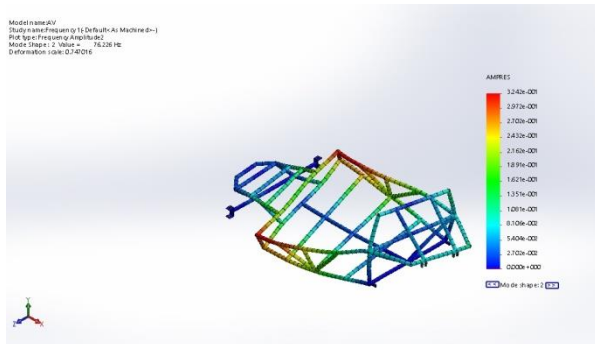
## Analyse fréquentielle



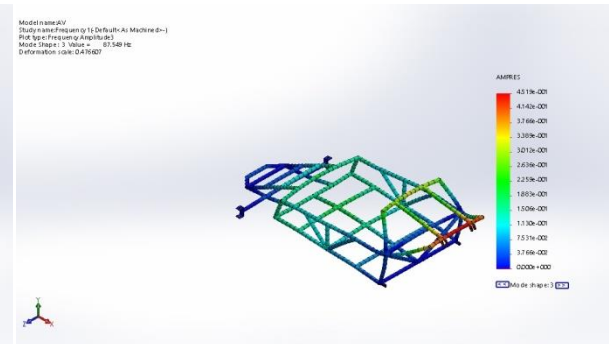
Maillage sur le chassis



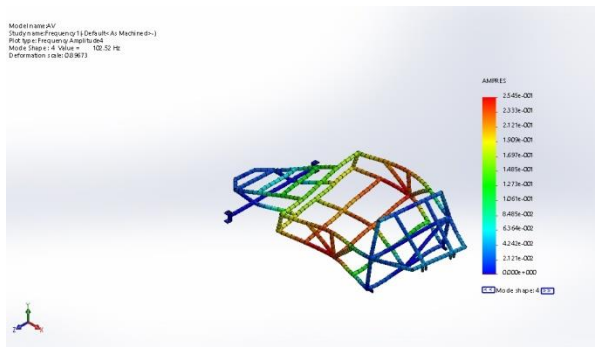
Amplitude 1 (63.4391HZ)



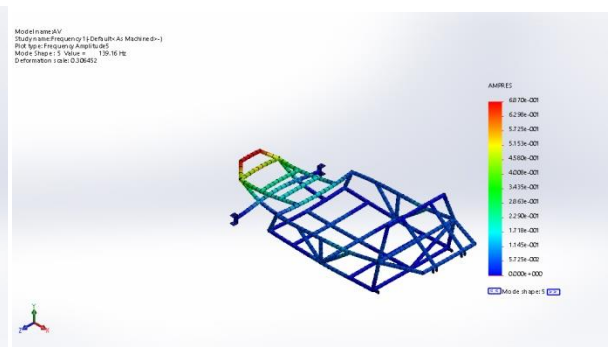
Amplitude 2 (76.2257 Hz)



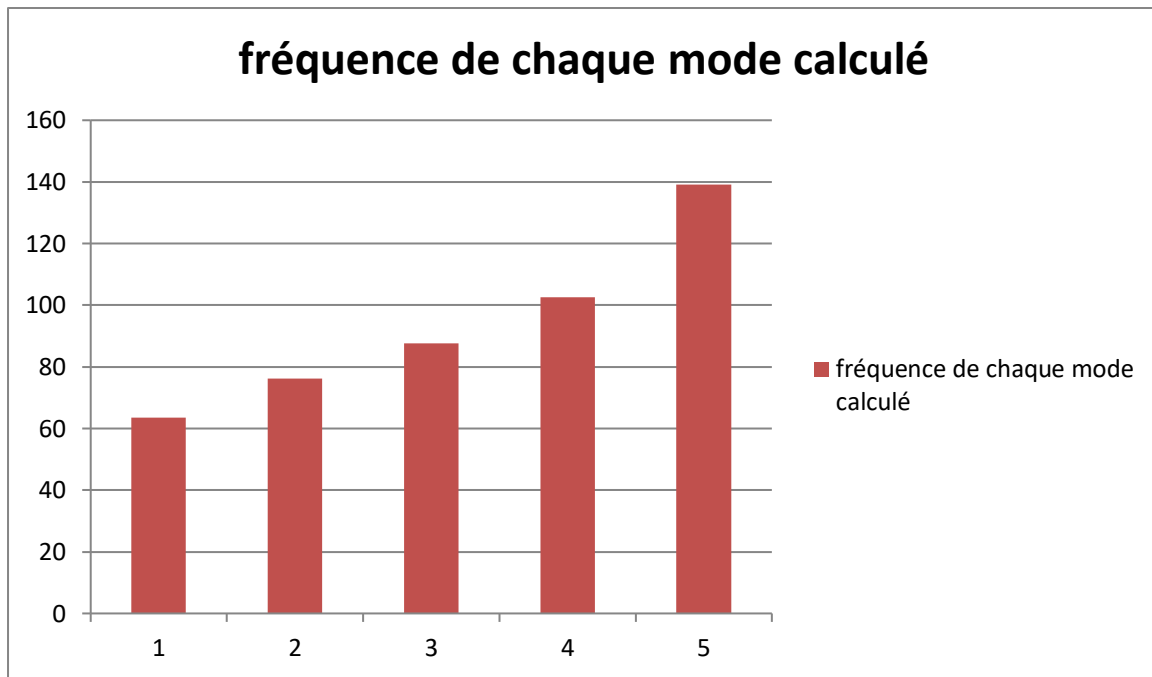
Amplitude 3 (87.5489 Hz)



Amplitude 4 (102.518 Hz)



Amplitude 5 (139.161 Hz)



### List des modes

Frequency Number	Rad/sec	Hertz	Seconds
1	<b>398.6</b>	<b>63.439</b>	<b>0.015763</b>
2	<b>478.94</b>	<b>76.226</b>	<b>0.013119</b>
3	<b>550.09</b>	<b>87.549</b>	<b>0.011422</b>
4	<b>644.14</b>	<b>102.52</b>	<b>0.0097544</b>
5	<b>874.37</b>	<b>139.16</b>	<b>0.0071859</b>

## Annexe 3

### Calibrage des ESC

#### V.1.1. Introduction

Les ESC sont conçus être compatibles avec un maximum de radiocommandes/ordinateur de bord mais, en contrepartie, ils ont besoin d'être calibrés pour fonctionner avec notre matériel. Concrètement, le calibrage n'a rien de compliqué, il s'agit d'envoyer aux ESC les extremums des commandes des régimes soit, en clair, le signal correspondant à la commande "arrêt moteur" et le signal correspondant à la commande "plein régime". Ainsi, les ESC connaissent leur plage de fonctionnement.

#### V.1.2 Présentation de la Bibliothèque Servo

Il existe une bibliothèque Arduino qui va nous permettre de générer facilement le signal PWM: **la bibliothèque Servo**. Cette bibliothèque permet de contrôler jusqu'à 12 moteurs sur un Arduino Uno, ça nous laisse de la marge avec nos 4 ESC. Son utilisation est relativement simple comme nous pouvons le voir sur cet exemple:

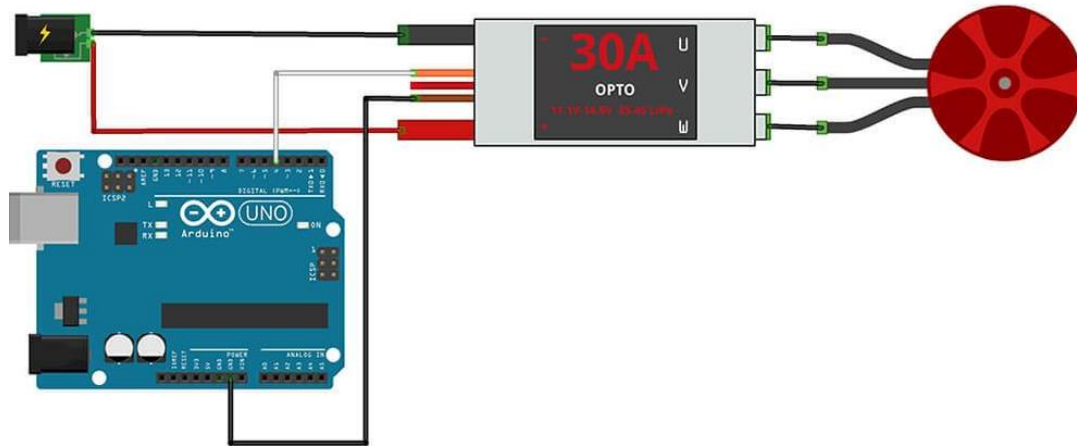
```
#include <Servo.h>
Servo myservo;           // Déclaration d'un servo.
void setup()
{
  myservo.attach(9);     // On attache le servo au pin #9 de l'arduino.
  myservo.write(90);     // Et on écrit la valeur 90, ce qui correspond à un angle 0°.
}
void loop() {}
```

La fonction qui permet d'envoyer la valeur souhaitée est la fonction « **write ()** » qui accepte en paramètre une valeur comprise entre 0° et 180°. Pour un servomoteur classique, la valeur 0° le positionnerait à -90° tandis que la valeur 180° le positionnerait à +90°. Dans le cas de nos ESC, la valeur 0° stoppe la rotation du moteur alors que la valeur 180° le fait tourner à plein régime.

#### V.1.3. Câblage

Commençons par relier nos moteurs à nos ESC. Pour rappel, les moteurs brushless se comportent comme des moteurs triphasés, aussi le sens de branchement du trio de fils n'affectera que le sens de rotation. Ensuite, relier nos ESC à l'Arduino comme suit:

- ESC 1: pin #4 de l'Arduino
- ESC 2: pin #5 de l'Arduino
- ESC 3: pin #6 de l'Arduino.
- ESC 4: pin #7 de l'Arduino.



**Figure V.1.1** Cablage d'un ESC à l'Arduino

**Remarque :** Si on alimente pas l'Arduino avec la sortie BEC d'un ESC. L'Arduino sera alimenté en USB.

## V.1.4. Calibrage

Arrive le moment tant attendu du calibrage. un sketch Arduino qui nous permettra de calibrer nos ESC facilement est comme suit :

```
#include <Servo.h>
Servo motA, motB, motC, motD;
char data;

// Initialisation routine

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  motA.attach(4, 1000, 2000); // 1000 and 2000 are very important ! Values can be
                             // different with other ESCs.
  motB.attach(5, 1000, 2000);
  motC.attach(6, 1000, 2000);
  motD.attach(7, 1000, 2000);
  displayInstructions();
}
// Main function
void loop() {
  if (Serial.available()) {
    data = Serial.read();
    switch (data) {
      // 0
      case 48 : Serial.println("Sending 0 throttle");
                motA.write(0);
                motB.write(0);
                motC.write(0);
                motD.write(0);
                break;
      // 1
      case 49 : Serial.println("Sending 180 throttle");
                motA.write(180);
                motB.write(180);
                motC.write(180);
                motD.write(180);
                break;
      // 2
      case 50 : Serial.print("Running test in 3");
                delay(1000);
                Serial.print(" 2");
                delay(1000);
                Serial.println(" 1...");
                delay(1000);
    }
  }
}
```

```

        test();
        break;
    }
}
//Test function sending angle to the ESCs from 0 to 180 degrees
void test()
{
    for (int i=0; i<=180; i++) {
        Serial.print("Speed = ");
        Serial.println(i);
        motA.write(i);
        motB.write(i);
        motC.write(i);
        motD.write(i);
        delay(200);
    }
    Serial.println("STOP");
    motA.write(0);
    motB.write(0);
    motC.write(0);
    motD.write(0);
}
// Displays instructions to user
void displayInstructions()
{
    Serial.println("READY - PLEASE SEND INSTRUCTIONS AS FOLLOWING :");
    Serial.println("\t0 : Sends 0 throttle");
    Serial.println("\t1 : Sends 180 throttle");
    Serial.println("\t2 : Runs test function\n");
}

```

1. Commençons d'abord par uploader le sketch sur notre Arduino. Ensuite et **sans** que les ESC ne soient encore alimentés:
2. Connectons notre Arduino à notre PC grâce à son câble USB, ouvrons un terminal depuis Arduino Software et tapons « **1** ».
 

Cela va faire entrer les ESC en mode de programmation. C'est le moment d'alimenter nos ESC. nous devrions entendre 3 bips "bip1 bip2 bip3" signifiant que notre alimentation est OK.
3. Après 2 secondes, nous devrions entendre "bip bip" signifiant que la position "plein gaz" (valeur 180) à bien été enregistrée par les ESC.
4. Tapons maintenant « **0** » dans le terminal pour envoyer la commande "arrêt moteur" (valeur 0) aux ESC.
5. Plusieurs bips sont émis correspondant au nombre de cellules de notre batterie (et donc à son voltage). Par ex, 3 bips pour une LiPo 3S.
6. Un bip long est émis signifiant que la position "arrêt moteur" a bien été enregistrée par les ESC.
7. Les ESC sont maintenant calibrés. Tapons « **2** » dans le terminal pour démarrer la fonction de test. Cette fonction va envoyer une commande de gaz partant de **0°** pour progressivement arriver à 180°.

nous devrions voir nos moteurs commencer à tourner de plus en plus vite jusqu'à atteindre leur vitesse de rotation maximale. Ce n'est pas obligés de brancher nos 4 ESC en même temps, nous pouvons les calibrer un par un si nous le souhaitons.

### V.1.5. Conclusion

Nos ESC sont maintenant calibrés pour Notre carte et prêts à l'emploi.



## Annexe 4

### Spécifications du moteur [19]

Courant de charge de l'alternateur (A) **110**

Description détaillée **OEM**

Filetage de raccordement **17-M16**

ID de la version de la fiche **B+LDFM**

Nombre de trous de fixation **2**

Poulies **sans poulie**

Sens de rotation **Rotation dans le sens des aiguilles d'une montre**

Spécification **Valeo type**

Voltage [V] **14**

Diamètre extérieur [mm] **15**

Diamètre intérieur 1 [mm] **7**

Diamètre intérieur 2 [mm] **9,2**

Hauteur [mm] **27**

Voltage [V] **14,6**

Référence ERA	Nom
210280	ALTERNATEUR
	
Référence ERA	Nom
214000	BAGUE COLLECTRICE, ALTERNATEUR
	
Référence ERA	Nom
216095	RÉGULATEUR D'ALTERNATEUR
	
Référence ERA	Nom
216204	PONT DE DIODES, ALTERNATEUR
	

## Annexe 5

### Description des amortisseurs [24]

Tout nouveau mono amortisseur pour 110cc 125cc 140cc 200cc 250cc dirt bikes, pitbikes.

Résistance aux chocs 400 lb, 260 mm ou 10,25 "œil à œil, diamètre intérieur des yeux 10 mm.

Mécanique réglable.

Applications courantes sur le Pit Bike Dirt Bike 110cc - 250cc.

SSR.

SDG.

Lifan.

### Descriptif technique

Fabricant	WATODAY
Marque	WATODAY
Poids de l'article	1.64 kg
Dimensions du colis	30.4 x 8.2 x 8.2 cm; 1.64 kilogrammes
Référence constructeur	H034B-FR
Numéro de série fabricant	H034B-FR

