

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

Conception et réalisation d'une moto électrique

Réalisé par :

- MEZIANE Mohamed Said

Sous la direction de :

- M. GUERGUEB Brahim M.A.A
- Mme. MAHFOUD Mouna Doctorante

Présenté et soutenu le 10/07/2023

Composition du Jury :

Président :	M. RECHAK Said	Professeur	ENP
Promoteur :	M. GUERGUEB Brahim	MAA	ENP
Co-Promotrice :	Mme. MAHFOUD Mouna	Doctorante	ENP
Examineur :	M. BELKACEMI Yacine	MCA	ENP
Partenaire :	M. BROURI Karim	CEO & Founder	Brenco E&C

ENP 2023

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

Conception et réalisation d'une moto électrique

Réalisé par :

- MEZIANE Mohamed Said

Sous la direction de :

- M. GUERGUEB Brahim M.A.A
- Mme. MAHFOUD Mouna Doctorante

Présenté et soutenu le 10/07/2023

Composition du Jury :

Président :	M. RECHAK Said	Professeur	ENP
Promoteur :	M. GUERGUEB Brahim	MAA	ENP
Promoteur :	M. MAHFOUD Mouna	Doctorante	ENP
Examineur :	M. BELKACEMI Yacine	MCA	ENP
Partenaire :	M. BROURI Karim	CEO & Founder	Brenco E&C

ENP 2023

ملخص

يهدف مشروع نهاية الدراسة بعنوان "تصميم وتنفيذ دراجة نارية كهربائية اقترحتها شركة الهندسة والاستشارات "برنكو" إلى تصميم وإنتاج دراجة نارية كهربائية للاستخدام الحضري بسرعة قصوى تبلغ 05 كم / ساعة و نطاق 05 كم. تبدأ العملية بحجم طاقة المحرك الكهربائي وبطارية الليثيوم أيون المطلوبة باستخدام برنامج "سيملينك". ثم يتم تنفيذ تصميم الهيكل على "صوليدوروكس" وفقاً للمعايير المريحة ومقاومة المواد يتم إجراء عمليات المحاكاة على للتحقق من ثبات الدراجة النارية. لضمان مستوى معين من الراحة ، من الضروري تصميم نموذج تعليق الدراجة النارية وإجراء عمليات محاكاة على "أنسيس" للتحقق من النتائج. الخطوة الأخيرة هي حساب عزم دوران الكبح.

كلمات مفتاحية : دراجة نارية كهربائية، خالية من الانبعاثات، ليثيوم أيون، التنقل الإلكتروني، بدء التشغيل، محرك كهربائي بدون فرش

Abstract

The end-of-studies project entitled "Design and realization of an electric motorcycles proposed by the engineering and consulting firm "Brenco E C" aims to design and produce an electric motorcycle for urban use with a maximum speed of 50 km/h and a range of 50 km. The process begins with the energy sizing of the BLDC electric motor and the required lithium-ion battery using the "Simulink" software. Then, the chassis design is carried out on SolidWorks according to ergonomic standards, and material resistance simulations are performed on Ansys Workbench to verify the motorcycle's stability. To ensure a certain level of comfort, it is necessary to model the motorcycle suspension and perform simulations on Ansys Workbench to verify the results. The last step is the calculation of the braking torque.

Keywords : Electric motorcycle, Zero-emission, BLDC, lithium-ion, e-mobility, Start-up.

Résumé

Le projet de fin d'études intitulé "Conception et réalisation d'une moto électrique" proposé par la société d'ingénierie et de conseil "Brenco E C" vise à concevoir et produire une moto électrique pour une utilisation urbaine avec une vitesse maximale de 50 km/h et une autonomie de 50 km. Le processus commence par le dimensionnement énergétique du moteur électrique BLDC et de la batterie au lithium-ion requise à l'aide du logiciel "Simulink". Ensuite, la conception du châssis est réalisée sur SolidWorks selon les normes ergonomiques, et des simulations de résistance des matériaux sont effectuées sur Ansys Workbench pour vérifier la stabilité de la moto. Pour garantir un certain niveau de confort, il est nécessaire de modéliser la suspension de la moto et d'effectuer des simulations sur Ansys Workbench pour vérifier les résultats. La dernière étape consiste au calcul du couple de freinage.

mots-clés : Moto électrique, Zéro émission, BLDC, lithium-ion, mobilité électrique, Start-up.

Remerciements

Louange à Allah, Dieu Unique, que Sa paix et Sa bénédiction soient sur le dernier des prophètes, Muhammad, sur sa famille et sur tous ses compagnons.

Je tiens à remercier mon enseignant et promoteur, Monsieur Brahim GUERGUEB, Enseignant à l'École Nationale Polytechnique, pour sa disponibilité, son aide et ses conseils.

Je tiens à remercier ma co-promotrice, Madame Mouna MAHFOUD, doctorante à l'École Nationale Polytechnique, pour sa disponibilité, son aide, ainsi que pour toutes les réponses qu'elle a su me donner lorsque je rencontrais des difficultés. Je lui suis reconnaissant de son soutien et de ses précieux conseils tout au long de mon cursus au département de Génie Mécanique

Je remercie le président du jury, Monsieur Said Rechak, ainsi que l'examineur, Monsieur Yacine BELKACEMI d'avoir accepté d'évaluer mon modeste travail..

J'en suis très reconnaissante à tous mes professeurs de Génie Mécanique ayant contribué à ma formation tout au long de mon cursus qui ont aidé pour avoir mené ce travail jusqu'à la fin. Je n'oublie pas mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur encouragement permanents.

Je remercie les ingénieurs de l'entreprise BRENCO E&C pour leur aide et leur soutien moral et physique et assistance au travail surtout dans la phase de réalisation spécialement Monsieur Sid Ahmed CHIKH TOUAMI et Monsieur Abdesslam HADJ AMEUR. Je remercie les responsables de BRENCO E& C d'avoir proposé le sujet de ce modeste PFE et le financer.

Je remercie les enseignants du département, je remercie M.Ali AMMICHE pour son aide en calculs de suspension et sa collaboration. Je remercie toutes les personnes et associations qui, d'une quel conque manière, m'ont apporté leur amitié, leur attention, leurs encouragements, leur appui et leur assistance pour que je puisse mener à terme ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail , À mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chères frères et sœurs pour leur complicité et leurs encouragements permanents.

À tous mes enseignants pour leur soutien et leur dévouement tout au long de mon parcours universitaire.

À la mémoire de mon grand-père maternel et ma grande mère paternelle, Paix à leur âme.

À mon amie Mohamed Chettouh pour son encouragement et sa complicité.

À tous mes camarades de promotion de Génie Mécanique 2020-2023, pour leurs complicités, leurs écoutes et leurs partages.

À tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail et dont les noms ne figurent malheureusement pas sur ces pages. Qu'ils trouvent ici le témoignage de mon estime et de ma gratitude.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Table des matières

Liste des figures
Liste des tableaux
Listes des symbols
Listes des abréviations

Introduction générale	16
1 État de l'art sur les motos électrique	17
1 ÉTAT DE L'ART ÉCONOMIQUE SUR LES MOTOS ET MOTOS ÉLECTRIQUES	18
1.1 Marché mondial de la moto	18
1.2 Marché Européen de la moto	18
1.3 Marché asiatique de la moto	18
1.4 Marché d'Amérique du Nord de la moto	18
1.5 Marché d'Amérique latine de la moto	18
1.6 Marché Africain de la moto	19
2 LES STARTUPS ET LES MOTOS ELECTRIQUES	19
3 COMPOSANTES DES MOTOS ELECTRIQUE	19
2 MOTORISATION TRANSMISSION ET BATTERIE	22
1 COMPARISON ENTRE UN MOTEUR ÉLECTRIQUE ET UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE (ICE)	23
1.1 Fonctionnement des moteurs électriques et moteur à combustion interne (ICE)	23
1.2 Comparaison en source d'énergie (le carburant et les batteries) : . .	24
2 TYPES DE MOTORISATION	25
2.1 Introduction	25
2.2 Moteurs à courant alternatif :	25
2.2.1 Moteur asynchrone (à induction)	25
2.2.2 Moteur synchrone	25
2.3 Moteurs à courant continu	26
2.3.1 Moteurs avec balais (Brushed DC)	26
2.3.2 Moteurs sans balais (Brushless BLDC)	27
2.3.3 Moteur à Répulsion Commutée (MRC)	28
2.4 Comparaison entre les différents types de moteurs	28
2.5 Transmission	29
2.5.1 Transmission par chaîne	29
2.5.2 Transmission par Courroie	30
2.5.3 Transmission à engrenages	31
2.5.4 Transmission Directe (Moteur sur la roue)	32

2.6	Batterie des Voitures et Motos électriques	32
2.6.1	Introduction	32
2.6.2	Types de Batterie	33
2.7	La recharge	36
2.7.1	Introduction	36
2.7.2	La recharge à courant Alternatif	36
2.7.3	La charge rapide en courant directe (DC)	38
2.7.4	Limitations sur la charge rapide	40
2.8	Les convertisseurs	40
2.8.1	Mode de fonctionnement Buck et boost pour le convertisseur DC/DC de la batterie	41
2.9	Conclusion	41
3	ÉTUDE ET RÉALISATION DE LA MOTO ÉLECTRIQUE	42
1	Introduction	43
2	Châssis	43
2.1	Définition du châssis	43
2.2	Types de Châssis	43
2.3	Géométrie des deux roues motorisées	43
2.4	Conception du châssis	44
2.4.1	Choix de type de châssis	44
2.4.2	Contraintes de conception du châssis des motos	45
2.4.3	Conception du châssis tubulaire	45
2.4.4	Simulations sur la résistance du châssis	46
2.4.5	Interprétation	50
2.5	Réalisation du Châssis	51
2.6	Conclusion	53
3	Motorisation	53
3.1	Type de moteur choisis	53
3.2	Dimensionnement du Moteur électrique	53
3.2.1	La résistance au roulement F_{rr}	54
3.2.2	La force de trainée aérodynamique F_{ad}	54
3.2.3	La force de pesanteur P_x	55
3.3	Les résultats de dimensionnement	58
3.4	Interprétation	59
3.5	Le moteur utilisé pour le prototype	59
3.6	Alimentation et commande	60
3.7	Le Controleur utilisé pour le prototype	61
3.8	Conclusion	61
4	Batterie	62
4.1	Fonctionnement de Batterie Lithium-ion	62
4.2	Recyclage des batteries lithium	63
4.3	Composition d'une Batterie lithium	64
4.4	Types de cellules lithium-ion	65
4.5	Arrangement des cellules	65
4.6	Système de Management de Batterie (BMS) (Battery Management system)	66
4.7	Dimensionnement et calcul énergétique de la batterie	67

	4.7.1	Modélisation théorique	67
	4.7.2	Calcul de la consommation et la récupération d'énergie électrique	69
	4.7.3	Interprétation	74
	4.8	Batterie et Recharge utilisé pour le prototype	74
	4.9	Conclusion	75
5	Calcul Thermique des Batteries		75
	5.1	Introduction	75
	5.2	Calculs et Modélisation analytique des Batteries	75
	5.3	Simulation sur Simulink	80
	5.4	Interprétation	82
	5.5	Conclusion	82
6	Roues		82
	6.1	Composition des roues d'une moto	82
	6.1.1	La Jante	82
	6.1.2	Le Moyeu	83
	6.1.3	Eléments d'assemblage	83
	6.1.4	LE PNEU	83
	6.2	Choix de Type de Roue	83
	6.3	Conclusion	84
7	Suspension		84
	7.1	Fonctionnement de suspension	84
	7.2	Conception de Suspension	84
	7.2.1	Les ressorts	85
	7.2.2	L'amortissement	85
	7.3	Choix de Type D'amortisseur pour le prototype	86
	7.4	Dimensionnement et calcul de suspension	86
	7.4.1	Les fréquences de suspension	86
	7.4.2	Calcul du coefficient d'amortissement	87
	7.4.3	Interprétation	90
	7.5	Conclusion	91
8	Freinage		92
	8.1	Types de Frein	92
	8.2	Choix de Type de Freins Pour le Prototype	92
	8.3	Calcul de freinage	93
	8.4	Résultats et interprétation	95
	8.5	Conclusion	95
9	Assemblage de La Moto		95
	9.1	Étapes D'assemblage de la Moto	95
	9.2	Conclusion	100
10	Conclusion		101
4	ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE	GUIDE PFE START-UP	102
	1	Analyse technico-économique	103
	1.1	Le domaine d'activité	103
	1.2	Les valeurs proposées	103
	1.3	Equipe de travail	104
	1.4	Objectifs du projet	104

1.5	Calendrier de réalisation du projet	104
1.6	Les aspects innovants	105
1.7	Le segment du marché	105
1.7.1	Marché potentiel	105
1.7.2	Marché ciblé	105
1.8	Mesure de l'intensité de la concurrence	106
1.9	La stratégie marketing	106
1.10	Le processus de production	106
1.11	L'Approvisionnement	106
1.12	La main d'œuvre	107
1.13	Les principaux partenariats	107
1.14	Plan Financier	108
	Conclusion générale	110
	Références	111
	Annexes	118

Table des figures

1.1	Cadre d'une moto électrique	20
1.2	Moteur de la moto électrique	20
1.3	Contrôleur de la moto électrique	21
1.4	Batterie et chargeur de la moto électrique	21
2.1	Comparaison entre le moteur thermique et le moteur électrique. [12]	23
2.2	Fonctionnement du moteur thermique. [14]	23
2.3	Fonctionnement du moteur électrique. [15]	24
2.4	Moteur asynchrone	25
2.5	le rotor et le stator ont la même polarité	26
2.6	Les pôles du rotor et du stator ont une polarité opposée et le rotor est tourné par des moyens externes	26
2.7	Moteur électrique à courant continu avec Balais. [18]	27
2.8	Moteur électrique à courant continu sans Balais. [18]	28
2.9	Moteur à Répulsion Commutée.[19]	28
2.10	La transmission par chaine. [21]	29
2.11	Transmission par courroie. [21]	30
2.12	Transmission à engrenages. [21]	31
2.13	Transmission Directe (moteur sur la roue) [27]	32
2.14	Batterie au plomb acide. [28]	33
2.15	La batterie au Nickel. [29]	34
2.16	les batteries haute température. [30]	34
2.17	Batterie au manganèse de lithium. [31]	35
2.18	Batterie au phosphate de fer de lithium. [32]	35
2.19	Batterie au titane de lithium. [33]	35
2.20	Le processus de charge AC [13]	37
2.21	Les différents connecteurs et bornes de recharge. [13]	38
2.22	Processus et fonctionnement de la charge DC [13]	39
2.23	les différents connecteurs et borne AC et DC. [13]	39
2.24	les différents Convertisseurs utilisés. [13]	41
3.1	la géométrie des deux roues motorisées.[37]	44
3.2	le châssis tubulaire pour la moto.	46
3.3	Les propriétés mécanique de l'acier standard.	47
3.4	Le Maillage utilisée pour la simulation.	48
3.5	Les Conditions limites pour la simulation du Châssis.	48
3.6	Le déplacement total du châssis.	49
3.7	la déformation élastique équivalente..	49
3.8	La contrainte équivalente selon Von-Mises.	50
3.9	Le coefficient de sécurité de la structure.	50

3.10	Essai d'ergonomie de la moto.	50
3.11	meuleuse électrique.	52
3.12	Cintreuse Hydraulique.	52
3.13	Soudage à l'arc électrique.	53
3.14	Les forces intervenantes dans la modélisation dynamique de la moto. [40]	54
3.15	Le nouveau cycle européen de conduite (NEDC).	55
3.16	Le dimensionnement du moteur électrique en fonction de NEDC. [42]	57
3.17	La puissance du moteur (kW) en fonction du temps (s).	58
3.18	Le couple moteur en (N.m) en fonction du temps (s).	58
3.19	La fréquence de rotation (tr/min) en fonction temps (s).	59
3.20	Moteur BLDC 1500W montée sur un scooter électrique (citycoco). [43].	60
3.21	Le controlleur du moteur citycoco 1500W. [45]	61
3.22	Les composants d'une batterie lithium. [48]	64
3.23	les différents types de cellules de batterie lithium.	65
3.24	schéma explicative sur l'arrangement des cellules.[49]	66
3.25	Battery Management system [50]	67
3.26	Modèle équivalent de batterie. [40]	67
3.27	le Modèle Simulink pour le calcul énergétique du moteur et de batterie	70
3.28	l'énergie total consommé (KWh), la consommation nette (KWh) et l'énergie nécessaire pour la traction (KWh) en fonction du temps (s)	71
3.29	l'énergie récupéré par le freinage régénérative (KWh) en fonction du temps (s).	71
3.30	Cellules lithium-ion 18650	73
3.31	L'état de charge SOC (%) en fonction du temps (s).	74
3.32	La batterie et le chargeur utilisé pour le prototype. [45]	75
3.33	Système de gestion thermique à air utilisé pour refroidir des cellules de type 18650 de la batterie d'un véhicule électrique. [53]	78
3.34	Les deux types d'arrangement des cellules (a) alignée, (b) en quinconce. [53]	78
3.35	Support de piles lithium-ion pour batterie de moto. [54]	79
3.36	Constantes de Calcul de nombre de Nusselt. [53]	80
3.37	La température des batteries lithium (0C) en fonction du temps (s).	81
3.38	Roue arrière de la moto (citycoco) [57].	83
3.39	Les composants des amortisseurs à l'huile. [38]	86
3.40	déplacements de l'amortisseur en Simulation Harmonique.	91
3.41	Simulation Modale du châssis de la moto.	91
3.42	Types de freins. [59]	93
3.43	Calcul de freinage. [60]	94
3.44	Le châssis de la moto	96
3.45	le châssis en intégrant le support de selle.	96
3.46	Le châssis, support de selle, amortisseurs et colonne de Direction.	97
3.47	Axe Taraudé.	97
3.48	Roulements à galets	97
3.49	La pièce en U pour connecter le guidon, les amortisseurs, la colonne de direction au châssis.	98
3.50	La tôle découpée par Plasma.	98
3.51	Montage de batterie sur le châssis.	100
3.52	La structure de La Moto.	100

4.1	Calendrier de réalisation du projet	105
-----	-------------------------------------	-----

Liste des tableaux

2.1	Comparaison entre un moteur électrique et moteur thermique en puissance, volume et rendement	24
2.2	Comparaison entre différentes sources d'énergie	24
2.3	les différents rendements des différents moteurs électriques. [16]	29
2.4	Tableau Comparatif des technologies des batteries. [13]	36
3.1	les principaux dimensions ergonomiques utilisé.	45
3.2	Donnés de la moto pour dimensionner le moteur.	57
3.3	Résultats de Calcul énergétique des Batteries sur SIMULINK	72
3.4	la fiche technique de la pile lithium 18650 [51]	73
3.5	Les paramètres de modélisation et de calcul de température des batteries lithium.	81
3.6	Fiche technique de la roue arrière (city coco)	84
3.7	le comportement de la structure en fonction des fréquences en Hz. [38]	87
4.1	Les fournisseurs et moyens de transport pour les pièces utilisés.	107
4.2	Plan financier pour investissement.	109

Liste des symbols

α	Angle d'inclinaison °
η_m	Rendement global de la machine BLDC
η_{moteur}	Rendement du moteur
η_{tr}	Rendement de la transmission
μ	Coefficient de friction de la garniture
Ω	Fréquence de rotation rd/s ou tr/min
ω	Pulsation rd/s
\vec{B}	Champ magnétique Statorique T
\vec{C}_m	Couple Magnétique N.m
\vec{m}	Moment magnétique N.m
ϕ	Déphasage
ρ	Masse volumique kg/m³
a	Accélération m/s²
A_f	Surface frontale de la moto m²
C_d	Coefficient de trainée
C_n	Capacité nominale de charge Ah
$C_{dmarrage}$	Couple de démarrage N.m
C_{moteur}	Couple moteur N.m
C_{rr}	Coefficient de résistance au roulement
dC	Couple élémentaire <i>N.m</i>
dT	Effort tangentiel élémentaire <i>N</i>
E_{batt}	Énergie stockée dans la batterie kWh
F_{ad}	Force de trainée aérodynamique N

F_{rr}	Résistance au roulement N
g	Accélération de gravitation $\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}^2}$
I	Courant électrique A
M	Masse de véhicule kg
P	Puissance W
P_x	Composante horizontale de la Pesanteur N
P_{charge}	Puissance de charge W
$P_{machine}$	Puissance de la machine BLDC W
P_{moteur}	Puissance du moteur W
P_{nette}	Puissance nette W
R_1	Rayon intérieur m
R_2	Rayon extérieur m
R_a	Rayon d'action de frein m
$R_{internal}$	Résistance interne
T_s	Température de la batterie K
v	Vitesse m/s
V_{OC}	Tension délivrée par la batterie V

Liste des abréviations

US United States

TCAC Taux de Croissance Annuel Cumulé

Cc Centimètre cube

CV Cheval vapeur

VE Véhicule Électrique

LiFePO Phosphate de fer Lithium

Mg-Ion Magnésium Ion

Li-air Lithium Air

Na₂O₂ Sodium Air

IEC International Electrotechnical Commission

WPT Wireless Power Transmission

CPT Transfert de Puissance Capacitif

IPT Transfert de Puissance Inductif

IA Intelligence Artificielle

ICE Moteur à Combustion Interne

AC Courant Alternatif

DC Courant Continu

BLDC Moteur DC sans balais

Nixx Batterie à base de Nicket

BMS Battery Management System

Introduction générale

Le transport est un indicateur clé du développement d'un pays et reflète les différences culturelles. Récemment, la protection de l'environnement est devenue une priorité, avec des normes et des sanctions internationales strictes. Les pays européens, les États-Unis et les pays asiatiques ont reconnu la nécessité de passer aux transports verts, en utilisant l'électricité plutôt que les moteurs à combustion interne. Cette alternative vise à réduire le bruit et les émissions de gaz à effet de serre. Les motos électriques, comme les voitures et les bus électriques, ont gagné en popularité dans les années 2000.

Les premiers brevets pour deux roues à propulsion électrique ont commencé à émerger en 1860. En 1911, Roberto Eugenio Gentile a présenté les premières « motos électriques » primitives à la Foire des inventions de Buenos Aires. Le deux-roues avait une autonomie de 50 et atteignait déjà une vitesse de 65 km/h. En 1938, Maurice Limelette a fondé une entreprise de motos électriques avec son frère Albert, appelée SOCOVEL. En 1941, Maurice invente, développe et commence à fabriquer son propre scooter électrique pour résoudre les problèmes liés au rationnement de l'essence pendant la Seconde Guerre mondiale. [1]

Après une lente évolution, faute de réseau électrique général, le constructeur Peugeot a présenté un modèle de scooter électrique au salon de Cologne en 1996. Ce fut la première moto électrique produite en série. En 2006, Vectrix a présenté le premier scooter électrique haute performance disponible dans le commerce, le VX-1 [2]

Les motos électriques ont de nombreux avantages. Elles offrent un couple et une puissance instantanés, ce qui les rend très rapides. Elles nécessitent également moins d'entretien car elles ont moins de pièces mobiles. Les motos électriques sont naturellement beaucoup plus silencieuses que les motos à essence et sont parfaites pour les balades urbaines. Elles sont également plus légères. [3]

En plus de ces avantages pratiques, les motos électriques permettent de réaliser des économies au quotidien. L'électricité est un carburant qui revient beaucoup moins cher aux consommateurs que l'essence ou le diesel. Les motos électriques sont également très peu polluantes car elles n'émettent pas de gaz carboniques et ne produisent pas d'odeurs désagréables. Elles font également beaucoup moins de bruit que les motos thermiques et n'ont pas de vibrations, ce qui rend la sensation à la conduite beaucoup plus confortable. [4]

Il y a aussi des inconvénients à l'utilisation de motos électriques. L'un des principaux inconvénients est leur autonomie limitée par rapport aux motos thermiques. Les motos électriques prennent également plus de temps à recharger que les motos thermiques à

ravitailer en essence. Le prix d'achat des motos électriques peut également être plus élevé que celui des motos thermiques, bien que cela puisse varier selon le modèle. [5]

Ce projet fait partie d'un PFE-Start-up pour concevoir et réaliser une moto électrique en collaboration avec l'entreprise algérienne Brenco E&C à Cheraga, dans le cadre d'un stage de fin d'études en génie mécanique à l'École Nationale Polytechnique. Le projet comprendra une étude bibliographique des modèles existants sur le marché mondial, suivie d'une étude technique des composants de la moto électrique, notamment le châssis, les batteries, le moteur, la suspension et le freinage. Un premier croquis de la moto sera présenté dans le rapport, justifié par des simulations statiques et dynamiques réalisées avec le logiciel de calcul par éléments finis Ansys Workbench.

Chapitre 1

État de l'art sur les motos électrique

1 ÉTAT DE L'ART ÉCONOMIQUE SUR LES MOTOS ET MOTOS ÉLECTRIQUES

1.1 Marché mondial de la moto

Le marché mondial des motos devrait connaître une forte croissance en 2022, avec des revenus estimés à 106,70 milliards de dollars américains. Honda Motorcycles devrait avoir la part de marché la plus importante, avec une part de vente d'unités de motos de 23,0 % et une part de marché en valeur de 24,8 % dans la région sélectionnée. La Chine devrait générer la majorité des revenus, avec une estimation de 22 110,00 millions de dollars US pour 2022. [6]

1.2 Marché Européen de la moto

En 2022, le marché mondial des motos devrait connaître une croissance significative, avec des revenus estimés à 11,82 milliards de dollars américains. Les motos routières sont le segment le plus important du marché, avec un volume de marché prévu de 9,00 milliards de dollars américains et un prix moyen pondéré en fonction du volume de 10,51 k\$ US. Dans la région sélectionnée, Honda Motorcycles devrait avoir la part de marché la plus importante en termes de ventes d'unités de motos, avec une part de 12,7 %. [6]

1.3 Marché asiatique de la moto

Selon les prévisions, le marché asiatique des motos devrait atteindre 73,94 milliards de dollars américains de revenus en 2022, avec les motos routières représentant le segment le plus important, atteignant un volume de marché de 51,28 milliards de dollars américains. Honda Motorcycles devrait détenir la plus grande part de marché en termes de ventes d'unités de motos, avec une part de 22,5 % dans la région sélectionnée. [6]

1.4 Marché d'Amérique du Nord de la moto

Selon les prévisions, le marché des motos devrait atteindre des revenus de 6,82 milliards de dollars américains en 2022, avec un volume de marché de 5,48 milliards de dollars américains pour les motos routières. Italika devrait détenir la part de marché la plus élevée dans la région sélectionnée, avec une part de ventes d'unités de motos de 28,7 %, tandis que Harley-Davidson devrait avoir une part de marché en valeur de 29,5 %.

1.5 Marché d'Amérique latine de la moto

Au Chili, les revenus du marché des motos devraient atteindre 109,50 millions de dollars américains en 2022, avec les motos routières représentant la plus grande part du marché avec 93,38 millions de dollars américains. Honda Motorcycles devrait avoir la part de marché en valeur la plus élevée avec 20,7 % des ventes d'unités de motos en 2022, tandis que la part de marché en valeur de Yamaha devrait s'établir à 39,9 %. [6]

1.6 Marché Africain de la moto

Selon les prévisions, le marché africain des motos devrait générer des revenus de 3,79 milliards de dollars américains en 2022, avec les motos routières constituant le segment le plus important, atteignant un volume de marché prévu de 2,15 milliards de dollars américains. Honda Motocycles devrait détenir une part de marché en valeur de 16,8 % dans la région sélectionnée, avec une part des ventes d'unités de motos de 18,6 %. [6]

2 LES STARTUPS ET LES MOTOS ELECTRIQUES

Elles sont européennes et s'appellent Cake, Jambon Beurre, Meijs et Johammer. Ces startups se préparent à affronter les géants mondiaux de la moto en créant des deux roues électriques pilotables avec ou sans permis.

Les motos électriques se font peu à peu une place dans nos rues. Les grands constructeurs se sont lancés ou s'appêtent à le faire. Mais ils ne sont pas seuls. Mais qui dit innovations, dit startup. Elles sont de plus en plus à se lancer sur ce marché et ont de grandes ambitions.

Elles ne ciblent pas les fans de grande cylindrée, mais un large public fait de piétons, de cyclistes, de scootéristes et d'automobilistes en quête de nouvelles émotions. Quant aux passionnés de motos, avec ou sans permis, ils trouveront leur bonheur avec des machines de tous styles qui vont du Scramblers (tout-terrain), au Cafe Racer en passant par des motos rétros. Voici quatre représentants européens de cette nouvelle vague : Cake (Suède), Jambon Beurre (France), Meijs (Pays-Bas) et Johammer (Autriche). [7]

3 COMPOSANTES DES MOTOS ELECTRIQUE

La moto électrique est constituée de plusieurs composants essentiels tels que la carrosserie, le système d'instruments, le moteur, le contrôleur, la batterie de stockage et le chargeur. Cependant, parmi eux, certains éléments tels que le moteur, le contrôleur, la batterie de stockage et le chargeur sont particulièrement critiques et susceptibles de causer des défaillances.



FIG. 1.1 : Cadre d'une moto électrique

Les pièces du cadre d'une moto électrique incluent le cadre lui-même, la fourche avant, le guidon et d'autres composants qui servent à guider la moto. Le guidon permet de diriger la fourche avant et ainsi changer la direction de la roue avant. La fourche avant joue également un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre de la moto pendant la conduite. D'autres pièces accessoires peuvent également être ajoutées, comme la selle, le réflecteur, le klaxon, les ailes avant et arrière, le support, le verrouillage de la voiture et le panier avant. [8]

Les moteurs sont classés en différents types en fonction de leur structure, mais le type le plus fréquemment utilisé dans les motos électriques est le moteur sans balais. [8]
Le contrôleur est un composant clé de la moto électrique, responsable du contrôle de



FIG. 1.2 : Moteur de la moto électrique

diverses fonctions telles que le démarrage, l'accélération, la décélération, la vitesse et l'arrêt du moteur électrique. Il peut être considéré comme le "cerveau" de la moto électrique, assurant une performance fiable et efficace. Les motos électriques sont disponibles en plusieurs modèles tels que les vélos électriques, les motos électriques à deux, trois ou quatre roues, chacun ayant des contrôleurs avec des performances et des fonctionnalités spécifiques adaptées à leur modèle. [8]

La batterie de stockage est un composant clé de la moto électrique, car elle fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement du moteur. Les batteries les plus couramment utilisées dans les motos électriques sont les batteries au plomb et les batteries au lithium. Cependant, les batteries au lithium sont considérées comme plus coûteuses que les batteries au plomb. [8]



FIG. 1.3 : Contrôleur de la moto électrique

Le chargeur est un appareil utilisé pour recharger les batteries des motos électriques.



FIG. 1.4 : Batterie et chargeur de la moto électrique

Les chargeurs peuvent être classés en deux modes de charge : le mode de charge en deux étapes et le mode de charge en trois étapes. Le mode de charge en deux étapes consiste à charger la batterie à tension constante, en réduisant progressivement le courant de charge à mesure que la tension de la batterie augmente. Une fois que la batterie est partiellement rechargée, la tension de la batterie augmente jusqu'à atteindre la valeur définie du chargeur, puis la charge est maintenue à un niveau d'entretien. Le mode de charge en trois étapes, quant à lui, commence par charger la batterie avec un courant constant pour reconstituer rapidement l'énergie de la batterie. Une fois que la tension de la batterie a augmenté, le chargeur passe à une charge à tension constante. À ce stade, l'énergie de la batterie est lentement complétée et la tension de la batterie continue d'augmenter. Lorsque la tension de fin de charge est atteinte, le chargeur passe en mode de charge d'entretien pour maintenir la batterie et fournir le courant d'autodécharge de la batterie. [8]

Les composants d'entrée de signal tels que la poignée de rotation, la poignée de frein et le capteur de puissance sont utilisés pour communiquer avec le contrôleur de la moto électrique. Le signal provenant de la poignée de rotation contrôle la vitesse de la moto électrique, tandis que le signal de la poignée de frein est envoyé au contrôleur lorsque le frein est appliqué, coupant l'alimentation du moteur pour mettre la moto hors tension. Le capteur d'assistance électrique détecte la force de pédalage ou la vitesse de la pédale lorsque la moto électrique est en mode d'assistance, ce qui permet au contrôleur de fournir différentes puissances électriques au moteur en fonction du signal du capteur pour assurer une correspondance automatique entre l'effort physique et l'énergie électrique, entraînant ainsi la moto électrique. [8]

Les lampes et instruments sont un ensemble de dispositifs qui fournissent de l'éclairage et indiquent l'état des motos électriques. Les instruments incluent souvent des indicateurs de tension de la batterie, des compteurs de vitesse, des affichages de l'état de conduite et des témoins lumineux pour indiquer l'état des lampes, etc. [8]

Chapitre 2

MOTORISATION TRANSMISSION ET BATTERIE

1 COMPARISON ENTRE UN MOTEUR ÉLECTRIQUE ET UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE (ICE)

1.1 Fonctionnement des moteurs électriques et moteur à combustion interne (ICE)

Le moteur à combustion interne est utilisé dans les voitures et les motos, mais la plupart des motos ont un moteur à essence. Son fonctionnement est basé sur quatre temps : le temps d'admission où de l'essence est injectée dans la chambre, le temps de compression où l'essence est comprimée, le temps de combustion où l'essence est allumée pour produire de l'énergie et pousser le piston vers le bas, et enfin le temps d'échappement où les gaz d'échappement sont émis du cylindre. Ce processus convertit le mouvement linéaire du piston en un mouvement rotatif, qui est similaire à la façon dont une bicyclette avance lorsqu'on appuie sur les pédales.

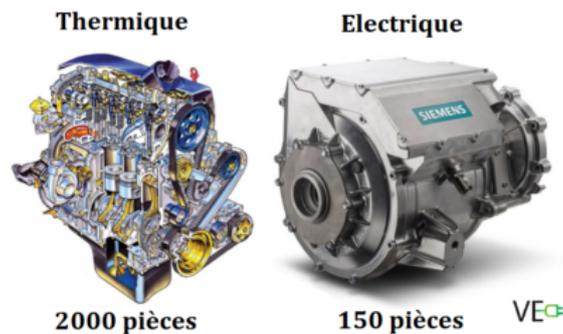


FIG. 2.1 : Comparaison entre le moteur thermique et le moteur électrique. [12]

Le fonctionnement d'un moteur électrique simple est le suivant :

1. Une bobine de fil est alimentée en électricité, ce qui crée son propre champ magnétique et la transforme en aimant.
2. Cette bobine magnétique est placée entre deux aimants, ce qui provoque la poussée d'un côté de la bobine vers le haut et de l'autre côté vers le bas.
3. Cette action fait tourner la bobine jusqu'à ce qu'elle soit verticale, moment où la polarité est rapidement inversée.
4. Le résultat est un mouvement rotatif. [13]

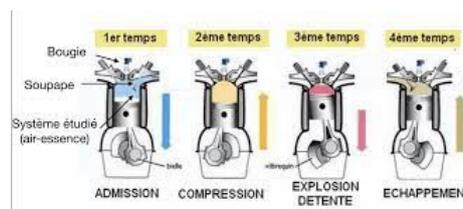


FIG. 2.2 : Fonctionnement du moteur thermique. [14]

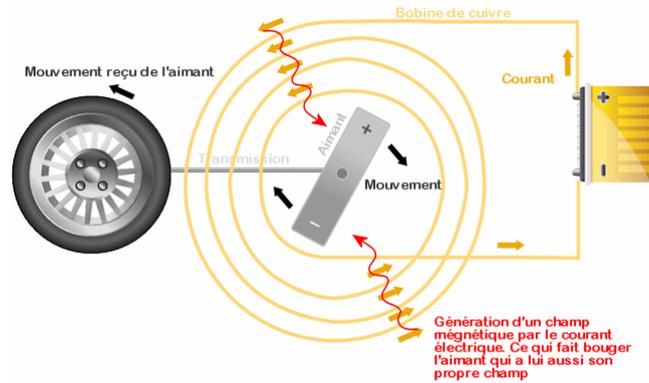


FIG. 2.3 : Fonctionnement du moteur électrique. [15]

TAB. 2.1 : Comparaison entre un moteur électrique et moteur thermique en puissance, volume et rendement

Moteur Thermique	Moteur électrique	Entre MT et ME
1-3 kW/kg	3-10 kW/kg	3 × Plus de puissance
0.4 kW/L	13.6 kW/L	40 × Moins volumineux
5-300 % d'efficience	93-96 % d'efficience	30-20 % plus d'efficience
Plusieurs pièces en mouvement	Une pièce en mouvement	Maintenance quasi nul

1.2 Comparaison en source d'énergie (le carburant et les batteries) :

En observant ces avancées, il est prévu que la mobilité électrique sera bientôt plus légère que la mobilité à moteur à combustion interne, en tenant compte du poids du groupe motopropulseur et du stockage d'énergie. En outre, selon un graphique présenté dans l'étude "Baisse rapide des coûts des blocs-batteries pour les véhicules électriques" de Björn Nykvist et Mans Nilsson publiée dans la revue Nature Climate Change en mars 2015, les prix des batteries sont en chute libre, ce qui implique que la voiture et la moto électrique deviendra bientôt plus abordable. [13]

TAB. 2.2 : Comparaison entre différentes sources d'énergie

Source d'énergie	Année de dév.	Densité énergétique Wh/kg	Source d'énergie/carburant
Essence	1900	12000	-
Plomb-acide	1900	10	1200 × moins
Plomb-acide	2000	35	345 × moins
NiMH	2000	35	345 × moins
Lithium	2015	250	48 × moins
Lithium-air	En développement	12000	équivalent

2 TYPES DE MOTORISATION

2.1 Introduction

Il existe différents types de moteurs pour les véhicules électriques, chacun avec ses propres caractéristiques. Il est donc important d'évaluer les paramètres de base de chaque type de moteur pour choisir celui qui convient le mieux. Les moteurs utilisés dans les véhicules électriques doivent avoir un design simple, une puissance spécifique élevée, un coût de maintenance peu élevé et une bonne capacité de contrôle.

Parmi les moteurs les plus couramment utilisés par les fabricants de véhicules électriques, on trouve les moteurs à courant continu avec balais, les moteurs à courant continu sans balais, les moteurs asynchrones (à induction), les moteurs synchrones et les moteurs à réluctance commutée, les deux derniers sont des moteurs à courant alternatif. [16]

2.2 Moteurs à courant alternatif :

2.2.1 Moteur asynchrone (à induction)

Les moteurs asynchrones triphasés sont couramment utilisés dans les véhicules électriques en raison de leur efficacité élevée, de leur bonne régulation de vitesse et de l'absence de commutateurs. Lorsqu'une alimentation en courant alternatif triphasé est connectée à l'enroulement statorique, cela permet d'établir un champ magnétique tournant. Ce champ magnétique tournant interagit avec les conducteurs du rotor stationnaire, induisant ainsi un courant qui circule à travers les conducteurs du rotor. Le courant induit établit son propre champ magnétique, qui interagit avec le champ magnétique tournant pour produire un couple unidirectionnel. Étant donné que la vitesse du rotor est inférieure à la vitesse du champ tournant (vitesse synchrone), ces moteurs sont également appelés moteurs asynchrones. [16]

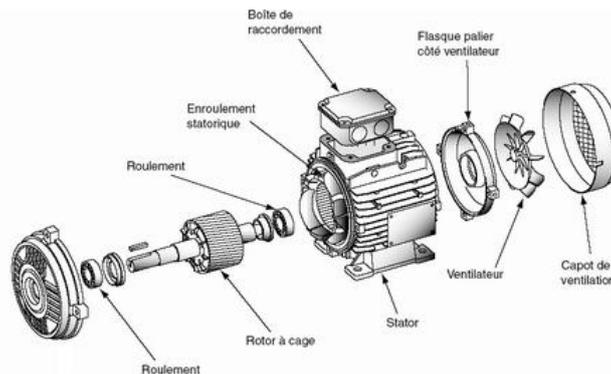


FIG. 2.4 : Moteur asynchrone

2.2.2 Moteur synchrone

Les moteurs synchrones sont caractérisés par la rotation du rotor à la même vitesse que le champ magnétique tournant créé par le stator. Le rotor est alimenté en courant continu tandis que le stator est alimenté en courant alternatif triphasé. Les pôles du stator ont une polarité qui change constamment, tandis que les pôles du rotor conservent une

polarité constante. Initialement, si les polarités des pôles du stator et du rotor sont celles montrées dans la figure 2.5 , le pôle S du rotor sera repoussé par le pôle S du stator. Lors d'une autre demi-période, les pôles du stator changent de polarité et le pôle S du rotor est attiré vers le pôle N du stator, générant un couple pulsatoire. En raison de l'inertie du rotor, il ne se met pas en mouvement automatiquement. Toutefois, si le rotor est tourné par une source externe, de telle manière que les pôles du rotor soient constamment sous l'influence des pôles du stator de polarité opposée, même avec une polarité en constante évolution, le rotor commencera à tourner dans une direction. Lorsque le pôle S du rotor est intercalé avec le pôle N du stator, comme illustré dans la Figure 2.6 le rotor tourne dans le sens horaire. Si la source externe est retirée, les pôles du rotor et du stator restent verrouillés les uns avec les autres et le rotor continue à tourner à la vitesse synchrone. La vitesse de rotation du rotor doit être telle que le rotor parcourt une distance de pas de pôle pendant une demi-période d'alimentation. Les moteurs synchrones sont largement utilisés dans les applications qui nécessitent un rendement élevé et une densité de couple élevée, tels que les servomécanismes, les éoliennes et les véhicules électriques. [16]

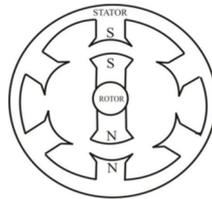


FIG. 2.5 : le rotor et le stator ont la même polarité

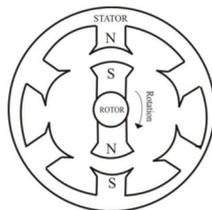


FIG. 2.6 : Les pôles du rotor et du stator ont une polarité opposée et le rotor est tourné par des moyens externes

2.3 Moteurs à courant continu

Ils existent deux types de moteur à courant continu, avec balais (Brushed DC) et le second sans balais (Brushless DC).

2.3.1 Moteurs avec balais (Brushed DC)

Les moteurs à courant continu avec balais utilisent des balais et des commutateurs pour établir une connexion entre le circuit d'alimentation externe et l'induit du moteur. Ces balais peuvent être faits de différentes matières, telles que le carbone, le cuivre, le graphite de carbone ou le graphite métallique, et ont souvent une forme rectangulaire. Cependant, ces moteurs présentent des inconvénients tels que l'usure des commutateurs due à la

friction avec les balais, limitant ainsi leur vitesse maximale. Toutefois, ces moteurs ont la capacité de fournir un couple élevé à faible vitesse, les rendant idéaux pour les systèmes de traction. Les moteurs à courant continu avec balais peuvent avoir deux, quatre ou six pôles, avec un enroulement de champ connecté en série ou en dérivation, selon leur puissance de sortie et leur tension nominale. Comparativement aux moteurs PMSM ou BLDC, les moteurs à courant continu avec balais ont une densité de puissance moins élevée, ce qui peut être un autre inconvénient pour leur utilisation dans les véhicules électriques. [16]

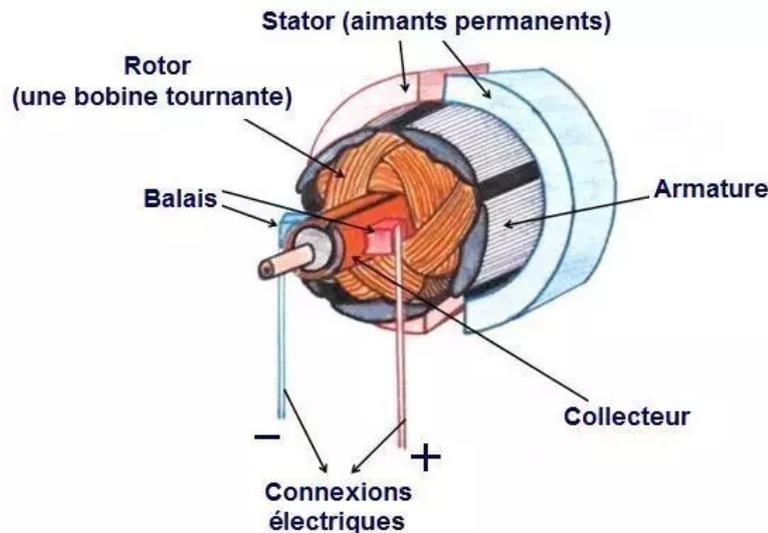


FIG. 2.7 : Moteur électrique à courant continu avec Balais. [18]

2.3.2 Moteurs sans balais (Brushless BLDC)

Le moteur DC sans balais présente des avantages par rapport à son homologue avec balais, notamment une maintenance réduite et une efficacité accrue. Contrairement au moteur DC avec balais, la commutation mécanique est remplacée par une commutation électronique équivalente dans le moteur DC sans balais, grâce à un circuit onduleur et un élément de détection de la position du rotor. Selon la National Electrical Manufacturers Association (NEMA), le moteur BLDC est une machine synchrone rotative équipée d'un rotor à aimant permanent et de positions d'arbre de rotor connues pour la commutation électronique. La Figure (2.8) illustre la disposition de base du stator, du rotor et des capteurs de position dans le moteur BLDC. Ce type de moteur offre un couple plus élevé aux valeurs de courant et de tension de crête par rapport aux autres types de moteurs, et est donc utilisé dans les compresseurs, les pompes et les systèmes de ventilation, notamment à haute vitesse. Toutefois, le moteur DC sans balais n'a pas de couple de démarrage automatique. Si le rotor est tourné manuellement de sorte que les pôles du rotor sont continuellement sous l'influence de pôles du stator de polarité opposée même avec une polarité qui change continuellement, le rotor commencera à tourner dans une direction. Une fois que les moyens externes ont été retirés, les pôles du rotor et du stator sont verrouillés et le rotor tourne à vitesse synchrone. Pour ce faire, le rotor doit être tourné à une vitesse telle qu'il se déplace sur une distance de pas de pôle dans une demi-période de l'alimentation. Le moteur synchrone est donc utilisé pour ses performances élevées et sa

densité de couple élevée, notamment dans les servomoteurs, les éoliennes et les véhicules électriques. [16]

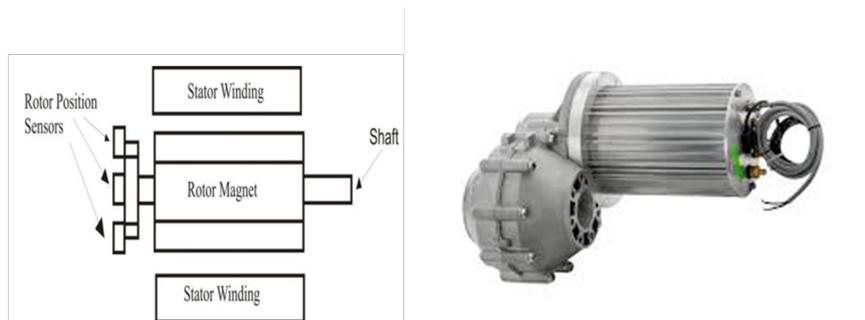


FIG. 2.8 : Moteur électrique à courant continu sans Balais. [18]

2.3.3 Moteur à Répulsion Commutée (MRC)

Le moteur à réluctance variable fonctionne selon le principe de la réluctance variable pour produire un couple. Lorsque les bobines du stator sont alimentées, cela crée une réluctance variable dans l'espace d'air entre le stator et le rotor, qui pousse le rotor vers une position de moindre réluctance, produisant ainsi un couple. Ce type de moteur est caractérisé par un couple de démarrage élevé, une large plage de vitesses et une bonne tolérance aux pannes, ce qui le rend adapté aux applications de véhicules électriques. Lors de la comparaison de différents types de moteurs pour les applications de véhicules électriques, certains paramètres tels que le rapport puissance/poids, les caractéristiques de couple-vitesse, l'efficacité, le coût du contrôleur et le coût du moteur doivent être pris en compte. [16]



FIG. 2.9 : Moteur à Répulsion Commutée. [19]

2.4 Comparaison entre les différents types de moteurs

Nous récapitulons quelques notes de comparaison entre les différents types de moteurs dans les points suivants :

- Les moteurs à courant continu avec balais sont faciles à contrôler, fournissent un couple élevé à des vitesses plus basses mais ont un coût de maintenance élevé, une taille importante et une faible efficacité.

- Le moteur BLDC a un rapport puissance/poids plus élevé, mais son coût de maintenance et le coût du contrôleur sont élevés.
- Le moteur asynchrone triphasé fournit une efficacité supérieure à 90% à pleine charge ainsi qu'à 10% de charge. Le moteur asynchrone triphasé et le moteur BLDC sont les deux moteurs les plus largement utilisés par les fabricants de véhicules électriques.
- Le moteur à réluctance variable fournit une excellente alternative au moteur à induction et au moteur BLDC avec un coût inférieur pour le moteur et le contrôleur, une efficacité élevée à la charge maximale ainsi qu'à une charge de 10%, une fiabilité et une capacité de tolérance aux pannes. [16]

TAB. 2.3 : les différents rendements des différents moteurs électriques. [16]

Type de moteur	Efficacité de crête	Efficacité à 10 % de la charge
Moteur DC avec balais	85-90	80-85
Moteur DC sans balais	> 95	70-80
Moteur AC Asynchrone	> 90	>90
Moteur AC synchrone	>92	80-85
Moteur à Répulsion Commutée	<95	>90

2.5 Transmission

Les motos électriques peuvent avoir différents types de transmissions en fonction de leur conception et de leur utilisation. Voici quelques exemples de transmissions que l'on peut trouver sur les motos électriques.

2.5.1 Transmission par chaîne

Le système d'entraînement par chaîne est couramment utilisé pour transmettre la puissance mécanique d'un endroit à un autre. Il utilise une chaîne à rouleaux qui passe sur des pignons d'engrenage pour transmettre la force mécanique. Différents types de chaînes de transmission existent, tels que la chaîne Morse avec des dents inversées. La puissance peut être récupérée à l'autre extrémité de la chaîne en utilisant un deuxième pignon ou un arbre. En ajustant le diamètre des pignons d'entrée et de sortie, on peut modifier le rapport de vitesse, ce qui permet de varier le nombre de révolutions effectuées par l'engrenage qui entraîne les roues par rapport aux tours effectués par les pédales du vélo. [20]

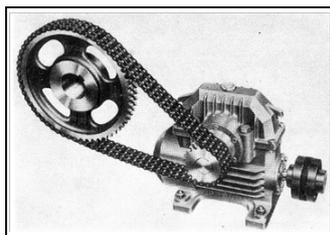


FIG. 2.10 : La transmission par chaine. [21]

Avantages et inconvénients de la transmission par chaîne

Les avantages du système d'entraînement par chaîne :

1. Économique : La chaîne est la solution la plus économique parmi les options disponibles pour la transmission de puissance mécanique.
2. Faible perte de puissance : La perte de puissance due à l'inertie est généralement faible, environ 3%.
3. Légèreté : Les chaînes de transmission sont relativement légères, ce qui réduit le poids suspendu.
4. Durabilité : Avec un entretien régulier pour éviter les points durs, les chaînes de transmission peuvent offrir une bonne durabilité. [22]

Cependant, il y a aussi des inconvénients à prendre en compte :

1. Sensibilité à l'oxydation : Les chaînes sont sensibles à l'oxydation, ce qui peut réduire leur durée de vie et nécessiter un entretien supplémentaire.
2. Tendance à se détendre : Les chaînes peuvent se détendre avec le temps, ce qui peut affecter la performance et la précision de la transmission de puissance.
3. Nécessité d'un entretien régulier : Pour maintenir une bonne qualité de fonctionnement, il est important de faire un entretien régulier pour éviter les points durs et assurer un fonctionnement optimal de la chaîne. [22]

2.5.2 Transmission par Courroie

Les courroies sont utilisées pour transmettre la puissance mécanique ou le mouvement de rotation entre des poulies. Elles sont flexibles et peu extensibles. Il existe deux types de courroies : les courroies fermées et les courroies ouvertes, utilisées dans des systèmes d'entraînement difficiles d'accès.

Les courroies sont mises en place avec des poulies, parfois avec un galet tendeur. Les courroies plates sont entraînées par adhérence, tandis que les courroies rondes, trapézoïdales et striées sont entraînées par coincement. Les courroies synchrones permettent une transmission de mouvement sans déphasage. [23]

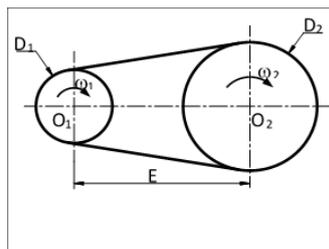


FIG. 2.11 : Transmission par courroie. [21]

Avantages et inconvénients de la transmission par courroie

Les avantages de la transmission par courroie dans les motos :

Atténuation des chocs : La courroie absorbe les chocs et les vibrations, offrant une conduite plus confortable.

Réduction du bruit : La transmission par courroie est généralement plus silencieuse que d'autres systèmes de transmission.

Facilité d'entretien : Les courroies nécessitent moins d'entretien que les chaînes, notamment en termes de lubrification et d'ajustement.

Réduction des coûts : Les courroies ont tendance à être moins coûteuses à remplacer et à entretenir que les chaînes.

Cependant, il y a également des inconvénients associés à la transmission par courroie :

Glissement facile : Les courroies peuvent glisser plus facilement que les chaînes, ce qui peut réduire l'efficacité de transmission.

Rapport de transmission inexact : Les courroies peuvent présenter une certaine variation du rapport de transmission, bien que cela ne soit pas un problème majeur dans la transmission de motos.

Faible résistance à la chaleur : Les courroies ont une résistance à la chaleur inférieure par rapport à d'autres systèmes de transmission, ce qui peut être un inconvénient dans certaines conditions.

Faible résistance aux surcharges et vieillissement facile : Les courroies peuvent avoir des limitations en termes de résistance aux charges élevées et peuvent s'user plus rapidement avec le temps. [24]

2.5.3 Transmission à engrenages

Un engrenage est un système mécanique avec des roues dentées qui transmettent le mouvement de rotation. Il peut être utilisé pour transmettre la puissance mécanique entre les roues dentées ou pour propulser un fluide. Les engrenages sont composés de pignons, de roues, de crémaillères, de couronnes, de vis ou de courroies crantées. Lorsqu'il y a plusieurs roues dentées, on parle de train d'engrenages. [25]

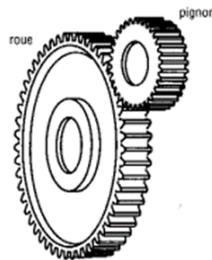


FIG. 2.12 : Transmission à engrenages. [21]

Les avantages de l'utilisation d'un engrenage pour la transmission de puissance comprennent :

1. Liaison non glissante : Il n'y a pas de perte de puissance due au glissement, ce qui garantit une transmission efficace.
2. Nombre de rapports de transmission : Les trains d'engrenages offrent un large éventail

de rapports de transmission possibles, ce qui permet d'adapter la vitesse et le couple de sortie.

Cependant, il y a aussi des inconvénients à prendre en compte :

Nécessité de lubrification : Les engrenages nécessitent une lubrification adéquate pour éviter l'usure prématurée des dents et faciliter le glissement tout en absorbant les chocs. [26]

2.5.4 Transmission Directe (Moteur sur la roue)

Un moteur-roue est une roue qui intègre un moteur électrique pour la propulsion d'un véhicule. La particularité de ce système est qu'il ne nécessite pas de transmission et qu'il est très compact en taille. Il est utilisé dans la mobilité électrique. [27]



FIG. 2.13 : Transmission Directe (moteur sur la roue) [27]

Avantages et inconvénients de la transmission directe

Les avantages du moteur-roue sont les suivants :

1. Compacité et absence de transmission : Permet d'économiser de l'espace et facilite l'intégration dans les véhicules.
2. Flexibilité de positionnement et de nombre de moteurs-roues : Offre une grande liberté de conception pour les véhicules.
3. Amélioration de la répartition du poids et de l'adhérence : Augmente la stabilité et la sécurité du véhicule sur la route. [27]

Cependant, il y a également des inconvénients à prendre en compte :

1. Poids plus élevé : Le moteur-roue peut être plus lourd qu'un moteur conventionnel, ce qui peut réduire l'efficacité énergétique et la maniabilité du véhicule.
2. Coûts de production et d'entretien plus élevés : Les moteurs-roues peuvent être plus coûteux à produire et à entretenir que les moteurs conventionnels.
3. Fiabilité et réparabilité : Le remplacement ou la réparation d'un moteur-roue défectueux peut être plus difficile et coûteux par rapport à un moteur conventionnel. [27]

2.6 Batterie des Voitures et Motos électriques

2.6.1 Introduction

La mobilité électrique nécessite des dispositifs de stockage électrochimique qui répondent à certaines exigences pour assurer une performance satisfaisante. Les exigences

clés sont les suivantes :

- Une énergie spécifique élevée pour garantir une autonomie satisfaisante
- Une puissance spécifique élevée pour répondre aux attentes des conducteurs en matière d'accélération
- Une durée de vie longue et sans entretien
- Une sécurité de fonctionnement dans une large gamme de conditions
- Un impact environnemental minimal en fin de vie
- Une efficacité élevée lors des cycles de charge et de décharge. [13]

Pour tous types de mobilité électriques il existe différentes catégories de batterie classée selon leur matériau :

- Plomb-acide
- Nickel : NiMH, NiCad
- Haute température : Chlorure de sodium-nickel (Na-NiCl ou Zebra)
- Lithium : Lithium-ion (Li-ion) et Lithium-polymère (Li-poly)
- Métal-air : Aluminium-air (Al-air) et Zinc-air (ZN-air) [13]

2.6.2 Types de Batterie

Batterie au plomb acide

Batteries au plomb-acide Il s'agit d'une technologie mature pour laquelle des progrès limités ont été réalisés en termes de densité d'énergie et de puissance. Des batteries à cycle profond sont disponibles, qui ont des électrodes renforcées pour éviter la séparation et la formation de boues. Les perspectives d'utilisation dans les VEs sont limitées en raison de la faible densité d'énergie, de la sensibilité à la température et du cycle de vie limité. [13]

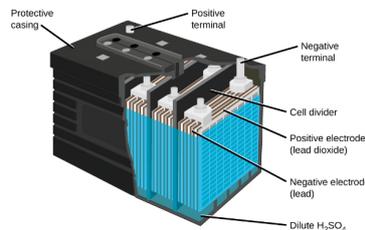


FIG. 2.14 : Batterie au plomb acide. [28]

Batterie à base du Nickel :

Les batteries nickel-métal hydrure (NiMH) sont largement utilisées pour les applications de traction et sont optimisées pour une forte capacité énergétique. Les batteries nickel-cadmium (NiCd) présentent également un bon potentiel en termes d'énergie et de puissance spécifiques élevées, bien que la présence de cadmium ait suscité des préoccupations environnementales. [13]

Les batteries haute température

Les batteries au sodium-nickel-chlorure (NaNiCl ou Zebra) ont été déployées dans de nombreuses applications de véhicules électriques à ce jour. La haute énergie spécifique est attrayante pour les VE à longue portée. La haute température de fonctionnement ($300^{\circ}C$)



FIG. 2.15 : La batterie au Nickel. [29]

nécessite un préchauffage avant utilisation, ce qui peut consommer beaucoup d'énergie si le véhicule est régulièrement garé pendant de longues périodes. Pour cette raison, cette batterie est considérée comme plus adaptée aux applications où le VE est utilisé en continu (transports en commun et véhicules de livraison, etc.). [13]



FIG. 2.16 : les batteries haute température. [30]

Les batteries à base de lithium

Les batteries à base de lithium sont classées selon le type de matériau actif. Deux types principaux existent, ceux avec un électrolyte liquide (Li-ion-liquide) et ceux avec un électrolyte polymère (Li-ion-polymère). Le type Li-ion-liquide est généralement préféré pour les applications de véhicules électriques. Dans le type Li-ion-liquide, il existe trois matériaux de lithium : le cobalt de lithium (ou les oxydes de manganèse de lithium), le phosphate de fer de lithium et le titanate de lithium. [13]

- Le manganèse de lithium :

Le manganèse de lithium (LiMnO) offre une solution potentiellement moins coûteuse. Il a été largement étudié pour les applications de véhicules électriques, en particulier au Japon. L'inconvénient de ce type de batterie est la durée de vie médiocre de la batterie en raison de la faible solubilité du Mn. [13]

- Le phosphate de fer de lithium :

Les batteries de phosphate de fer de lithium (LiFePO) sont fabriquées par de nombreuses entreprises dans le monde et ont acquis une crédibilité grâce à leur utilisation dans les outils électriques. Les cellules de phosphate de fer de lithium ont une densité d'énergie beaucoup plus faible que les cellules au format standard, mais peuvent être chargées beaucoup plus rapidement, en environ vingt à trente minutes. De plus, il a récemment été considéré que le LiFePO présente une meilleure stabilité en cas de surcharge, ce qui est



FIG. 2.17 : Batterie au manganèse de lithium. [31]

bon pour la sécurité, une très haute puissance et un potentiel de coût inférieur car elles utilisent du fer. [13]



FIG. 2.18 : Batterie au phosphate de fer de lithium. [32]

- Le titanate de lithium :

Le titanate de lithium permet une charge d'environ dix minutes et a été démontré pour avoir une durée de vie extrêmement longue - de l'ordre de 5000 cycles complets de décharge. Le titanate de lithium présente une sécurité inhérente élevée car l'anode en graphite de deux autres batteries est remplacée par un oxyde de titane. [13]

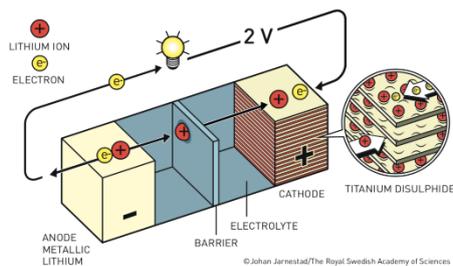


FIG. 2.19 : Batterie au titane de lithium. [33]

TAB. 2.4 : Tableau Comparatif des technologies des batteries. [13]

Batterie	Plomb acide	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion
Densité énergétique (Wh/Kg)	30-50	45-80	60-120	160-200
Nombre de cycles (Charges/décharge)	500 à 800	1000 à 2000	600 à 1500	400 à 1200
Temps de charge	6 à 12h	1 à 2h	2 à 4h	2 à 4h
Température de fonctionnement	-20 à 60 °C	-40 à 60 °C	-20 à 60 °C	-20 à 60 °C

2.7 La recharge

2.7.1 Introduction

La mobilité électrique nécessite des solutions de recharge rapides, fiables et sûres pour se développer. Cependant, cela pose un défi majeur, car il est difficile de savoir qui doit agir en premier. Les conducteurs n'adopteront pas les voitures électriques tant qu'il n'y aura pas suffisamment de stations de recharge disponibles. D'un autre côté, les investisseurs dans les infrastructures de recharge ne seront pas disposés à investir tant qu'ils ne seront pas sûrs de rentabiliser leur investissement. Cette situation est similaire à celle vécue avec les voitures à essence et les stations-service il y a un siècle. Les véhicules électriques doivent être rapidement rechargés pour continuer leur trajet, mais ils peuvent également être rechargés lentement la nuit. Le remplacement de batteries peut également offrir une solution de recharge rapide. Ce module explique différentes méthodes de recharge pour les batteries EV, notamment la recharge AC et la recharge DC. [34]

2.7.2 La recharge à courant Alternatif

La recharge AC permet de recharger les véhicules électriques à l'aide de stations de recharge AC peu coûteuses qui fournissent directement de l'énergie électrique AC au véhicule à partir du réseau. Les caractéristiques de l'AC, comme le mono ou triphasé, le niveau de tension et la fréquence du réseau peuvent varier d'un pays à l'autre. Pour convertir l'énergie AC en énergie courant continu (DC) pour recharger la batterie de traction, un chargeur embarqué est utilisé. Les véhicules ont une prise de connexion standardisée et un câble de recharge est utilisé pour connecter la prise du véhicule à la prise d'infrastructure de la station de recharge AC. Pour répondre aux limitations de charge utile et d'espace dans les véhicules électriques et hybrides rechargeables, le chargeur embarqué doit être léger et compact (généralement moins de 5 kg). Cependant, cette méthode présente une limitation de la puissance de sortie en raison des contraintes de taille et de poids. Ce type de recharge est appliquée même sur les deux roues électriques car ils utilisent les mêmes connecteurs de charge. [13]

Les avantages de cette méthode sont :

- La batterie peut être rechargée n'importe où en utilisant le réseau AC et le chargeur EV embarqué.
 - Le chargeur EV peut facilement communiquer avec le système de gestion de batterie (BMS) et aucun convertisseur électronique de puissance supplémentaire n'est nécessaire dans le chargeur EV. Cela conduit à des performances plus élevées et à un coût inférieur.
- [13] Les inconvénients sont :

- L'énergie AC doit être convertie en énergie DC dans la voiture, et il y a une limitation de la puissance de sortie pour la charge AC en raison des restrictions de taille et de poids du chargeur embarqué.
- La charge AC nécessite un temps relativement long en raison de la puissance de charge relativement plus faible. [13]

Fonctionnement de la recharge AC

Lorsque la station de recharge et le véhicule électrique sont connectés pour la première fois, le contrôleur de charge de la station communique avec le véhicule. Des informations concernant la connectivité, les conditions de défaut et les limites de courant sont échangées entre le chargeur et le véhicule. Lorsque l'énergie AC est fournie au véhicule, le chargeur embarqué dispose d'un redresseur qui convertit l'énergie AC en énergie DC. Ensuite, l'unité de contrôle de puissance ajuste de manière appropriée la tension et le courant d'un convertisseur DC/DC pour contrôler la puissance de charge délivrée à la batterie. L'unité de contrôle de puissance reçoit à son tour des entrées du système de gestion de batterie ou du BMS pour contrôler la charge de la batterie. En plus de cela, il y a un circuit de protection à l'intérieur du chargeur embarqué. Le BMS déclenche les circuits de protection si les limites de fonctionnement de la batterie sont dépassées, isolant la batterie si nécessaire. [13]

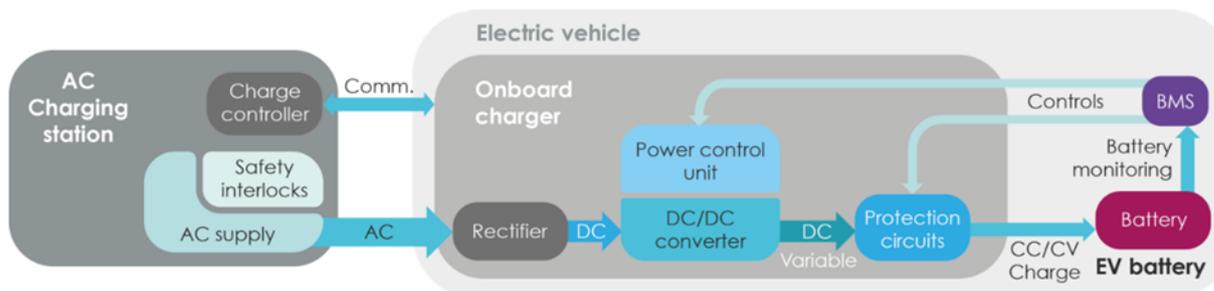


FIG. 2.20 : Le processus de charge AC [13]

Connecteurs de Recharge AC

Types L'industrie des VE n'a pas encore convenu d'un connecteur AC spécifique, donc selon la marque de la voiture et le pays, le connecteur varie en forme, taille et configuration des broches. L'une des principales raisons est la différence de tension et de fréquence de l'AC. Généralement, un connecteur AC a deux broches ou plus pour transmettre l'énergie, et certaines broches plus petites pour la communication. Quatre types de connecteurs AC sont utilisés dans le monde entier, à savoir :

- Le connecteur Type 1, qui est principalement utilisé aux États-Unis et au Japon ; Tension de 120V ou 240V ; Courant jusqu'à 80A.
- Le connecteur Type 2, qui est principalement utilisé en Europe, y compris ceux des voitures Tesla ; Tension de 1 phase 230V, courant jusqu'à 80A ; 3 phases 400V, jusqu'à 63A.

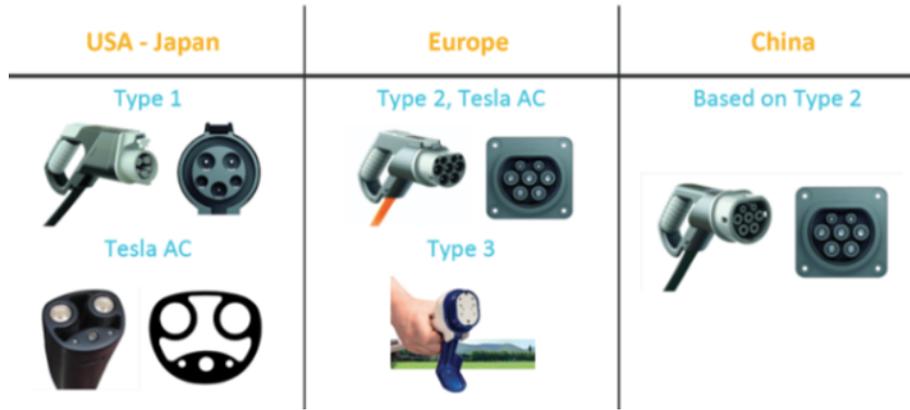


FIG. 2.21 : Les différents connecteurs et bornes de recharge. [13]

- Le connecteur Type 3, utilisé en Europe mais est progressivement remplacé par des connecteurs de Type 2
- Le connecteur propriétaire utilisé par Tesla pour ses voitures aux États-Unis La Chine a sa propre norme pour la recharge AC, qui est similaire aux connecteurs de Type 2 ; l'énergie maximale de recharge est 17 KW avec une tension de 240 V. [13]

2.7.3 La charge rapide en courant direct (DC)

Les stations de recharge rapide DC ont remplacé les stations de charge de niveau 1 et 2 et sont conçues pour permettre une recharge rapide des véhicules électriques avec une puissance électrique allant de 50 kW à 350 kW. Cependant, en raison de leur fonctionnement à haute puissance, les composants tels que le convertisseur AC/DC, le convertisseur DC/DC et les circuits de commande de puissance deviennent plus volumineux et coûteux. Ainsi, les chargeurs rapides DC sont conçus en tant que chargeurs externes plutôt qu'embarqués pour ne pas encombrer l'espace dans le véhicule et pour être partagés entre plusieurs utilisateurs. Ce type de recharge est appliquée même sur les deux roues électriques car ils utilisent les mêmes connecteurs de charge.

La recharge en courant continu (DC) est adaptée à la recharge à haute puissance des VE, et la puissance de sortie des chargeurs rapides est limitée uniquement par la capacité des batteries à accepter la puissance de charge. Les avantages de cette méthode sont :

- Elle peut être conçue avec un taux de charge élevé ou faible et n'est pas limitée en poids et en taille.
- La recharge en courant continu à haute puissance nécessite un temps de charge plus court. [13]

Et les inconvénients sont :

- Investissement plus élevé pour l'installation du chargeur par rapport à la recharge en courant alternatif (AC).
- Impact négatif sur le système électrique : demande de puissance élevée sur le réseau, surtout aux heures de pointe.
- Comme les chargeurs externes et le système de gestion de batterie sont physiquement séparés, une communication fiable est importante pour garantir les bonnes conditions de charge. [13]

Fonctionnement de la recharge DC

Dans la première étape, le courant alternatif ou l'alimentation AC fournie par le réseau AC est converti en courant continu ou DC à l'aide d'un redresseur à l'intérieur de la station de recharge DC. Ensuite, l'unité de commande de puissance ajuste de manière appropriée la tension et le courant du convertisseur DC/DC à l'intérieur de la station de recharge pour contrôler la puissance DC variable délivrée pour charger la batterie. Des circuits de verrouillage de sécurité et de protection sont utilisés pour désélectionner le connecteur EV et arrêter le processus de charge chaque fois qu'il y a une condition de défaut ou une connexion incorrecte entre l'EV et le chargeur. Le système de gestion de batterie ou BMS joue un rôle clé en communiquant avec la station de recharge pour contrôler la tension et le courant délivrés à la batterie et pour activer les circuits de protection en cas de situation dangereuse. [13]

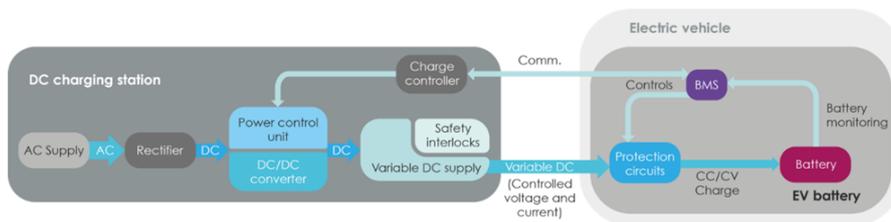


FIG. 2.22 : Processus et fonctionnement de la charge DC [13]

Les types de connecteurs de recharge DC

Il existe cinq types de connecteurs de charge rapide DC utilisés dans le monde entier :

1. Le CCS-combo 1, principalement utilisé aux États-Unis,
2. Le CCS-combo 2, principalement utilisé en Europe,
3. Le connecteur Chademo, utilisé dans le monde entier pour les voitures construites par les constructeurs automobiles japonais,
4. Le connecteur Tesla DC, qui est également utilisé pour la charge AC,
5. Et enfin, la Chine a son propre connecteur DC, basé sur la norme chinoise GB/T. [13]

USA-Japan	Europe	USA-Japan-Europe	China
Tesla DC 	Tesla DC 	Chademo 	GB/T
Combo 1: Combined AC & DC 	Combo 2: Combined AC & DC 		

FIG. 2.23 : les différents connecteurs et borne AC et DC. [13]

2.7.4 Limitations sur la charge rapide

La charge rapide est très attractive en termes de charge à haute puissance avec des temps de charge courts. Mais la puissance de charge rapide ne peut pas être augmentée indéfiniment. Cela est dû à cinq limitations techniques.

Un courant de charge plus élevé entraîne des pertes globales plus élevées à la fois dans le chargeur et dans la batterie. À mesure que les courants de charge augmentent, la capacité effective de la batterie diminue également (par exemple, comme le prévoit la loi de Peukert).

Le taux C de la batterie augmente avec la charge rapide et cela réduit la durée de vie de la batterie en raison de la chaleur produite et de la dégradation accrue due à la température plus élevée. Lors de la charge rapide d'une batterie, l'état de charge (SOC) de la batterie ne peut être atteint que jusqu'à 70-80 %. Cela est dû au fait que la charge rapide crée un décalage entre la tension et l'état de charge, et ce phénomène augmente à mesure que la batterie est chargée plus rapidement. Par conséquent, la charge rapide est généralement effectuée dans la région de charge en courant constant (CC) de la batterie, puis la puissance de charge est réduite en mode de charge à tension constante (CV).

Pour tout chargeur VE, il est important que le câble soit souple et léger pour que les gens puissent l'utiliser et le connecter à la voiture. Avec une puissance de charge plus élevée, des câbles plus épais sont nécessaires pour permettre un courant de charge plus élevé, sinon ils se réchaufferont en raison des pertes. À l'avenir, avec des courants supérieurs à 250A, les câbles de charge deviendraient lourds et moins flexibles à utiliser. La solution serait d'utiliser des câbles plus fins avec un refroidissement et une gestion thermique pour s'assurer que les câbles ne se réchauffent pas. Cela est bien sûr plus complexe et coûteux que d'utiliser un câble sans refroidissement. [13]

2.8 Les convertisseurs

Le groupe motopropulseur électrique des véhicules électriques est composé de plusieurs étapes de conversion d'énergie électrique. Les convertisseurs de puissance jouent un rôle crucial dans la régulation de la puissance entre la batterie et les machines électriques, en convertissant le courant continu fourni par la batterie à la bonne tension et en traitant l'énergie pour fournir la puissance optimale aux machines électriques. Les convertisseurs de puissance sont constitués de dispositifs semi-conducteurs de haute puissance à action rapide, qui agissent comme des commutateurs à haute vitesse en modifiant la tension et le courant d'entrée à l'aide d'éléments capacitifs et inductifs. Cela permet d'obtenir un courant de sortie à un niveau différent de celui de l'entrée. La fonctionnalité précise des convertisseurs de puissance dépend du type de machine électrique utilisée et de la puissance maximale à fournir. [13]

La configuration typique des composants de l'électronique de puissance dans un véhicule électrique à batterie est présentée dans la figure ci-dessus. Pour alimenter les équipements du véhicule, une alimentation auxiliaire est utilisée, généralement à 12V pour les véhicules actuels et pouvant aller jusqu'à 48V pour les véhicules futurs. Pour la propulsion du véhicule, un moteur à induction triphasé ou à aimant permanent est couramment utilisé, tandis que la transmission mécanique repose souvent sur un engrenage fixe et un différentiel. Cependant, il existe différentes options de configurations possibles pour les VEB, qui doivent être choisies en fonction des impératifs de coût et de performance. [13]

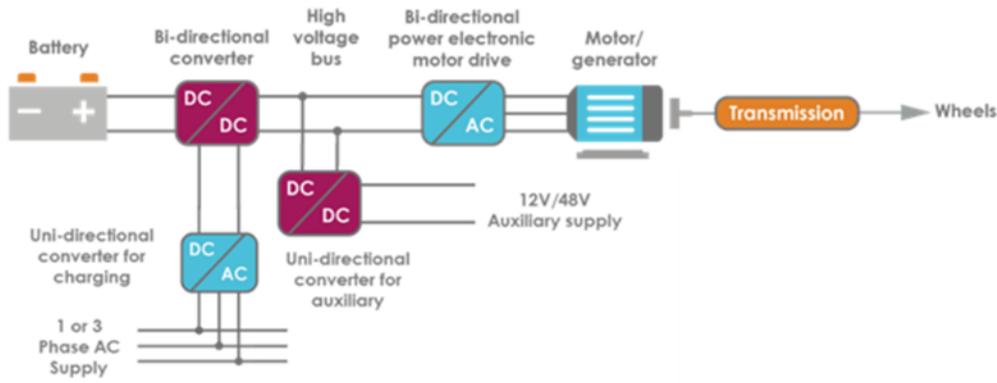


FIG. 2.24 : les différents Convertisseurs utilisés. [13]

2.8.1 Mode de fonctionnement Buck et boost pour le convertisseur DC/DC de la batterie

Le convertisseur DC/DC est un élément essentiel du système de conversion d'énergie d'un véhicule électrique. Le convertisseur élévateur (boost) et le convertisseur abaisseur (buck) sont les types les plus couramment utilisés. Lorsque le véhicule freine, le convertisseur fonctionne en mode buck pour réduire la tension du bus haute tension et récupérer l'énergie cinétique. Lorsque le véhicule accélère, le convertisseur fonctionne en mode boost pour réguler la tension continue fournie à la machine électrique. Le contrôleur utilise l'accélérateur et le frein du conducteur pour sélectionner le mode de fonctionnement approprié. Si une machine électrique à courant alternatif est utilisée, une conversion supplémentaire de la tension continue est nécessaire pour inverser ou redresser le sens du flux de puissance. [13]

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons comparé le moteur électrique aux moteurs à combustion interne, en mettant principalement l'accent sur leur fonctionnement et les différents types de moteurs électriques à courant continu et à courant alternatif. Nous avons également examiné leurs rendements respectifs.

Ensuite, nous avons abordé les différents types de transmissions de puissance en expliquant les avantages de chacune.

Dans la troisième partie, nous avons présenté une comparaison entre les différents types de batteries, en analysant leur densité énergétique, leur composition et leur fonctionnement. Enfin, nous avons examiné le processus de recharge, tant en courant continu qu'en courant alternatif, en mettant en évidence l'utilisation de convertisseurs de tension entre le moteur, la batterie et les autres accessoires.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons le dimensionnement du moteur BLDC utilisé en fonction de l'énergie nécessaire pour une autonomie de 50 km. Nous procéderons ensuite à la conception du châssis, à l'étude et au dimensionnement de la suspension et du système de freinage.

Chapitre 3

ÉTUDE ET RÉALISATION DE LA MOTO ÉLECTRIQUE

1 Introduction

Ce chapitre vise à présenter les différentes phases de conception et de réalisation d'une moto électrique, en commençant par l'étude théorique du châssis jusqu'à la concrétisation de sa construction. Nous aborderons également le choix du type de moteur et son dimensionnement. L'alimentation de la moto sera assurée par une batterie lithium-ion, qui sera dimensionnée en fonction de l'autonomie requise. Enfin, nous examinerons le dimensionnement et le calcul des systèmes de suspension, freinage et les roues de la moto, ainsi que les modèles utilisés pour les adapter au prototype en vue de l'assemblage final.

2 Châssis

2.1 Définition du châssis

Le cadre d'un véhicule à deux roues joue un rôle essentiel en assurant la liaison entre les principaux éléments et en garantissant la rigidité de l'ensemble. Dans le cas d'une motocyclette, le cadre, également appelé châssis, constitue l'élément central de la partie-cycle. Il peut être fabriqué en acier, en alliage chromoly, en aluminium pour les motos sportives, ou en fibre de carbone pour les modèles de compétition. Les choix de matériaux et d'architecture du cadre varient en fonction des objectifs de poids, de taille et de coûts visés. [35]

2.2 Types de Châssis

Il existe différents types de châssis utilisés dans l'industrie automobile. Le type de châssis le plus couramment utilisé est le châssis monocoque, où la carrosserie et le châssis sont intégrés en un seul élément. Ce type de châssis est apprécié pour sa flexibilité et sa légèreté, tout en offrant une rigidité suffisante pour absorber les chocs.

Un autre type de châssis est le châssis classique, qui se compose de deux longerons ou poutres métalliques. La carrosserie est fixée sur ces poutres, ce qui confère au véhicule une grande robustesse.

On trouve également le châssis poutre, qui est constitué d'une poutre centrale. Ce type de châssis était souvent utilisé par le passé dans les voitures sportives en raison de sa configuration spécifique. Enfin, il existe le châssis tubulaire, qui est une structure ultra-légère principalement utilisée dans les voitures de compétition. Ce type de châssis est conçu pour offrir une résistance maximale tout en réduisant au minimum le poids de la voiture.

Il est important de choisir le type de châssis approprié en fonction des besoins spécifiques du véhicule, tels que la performance, la sécurité et l'efficacité. [36]

2.3 Géométrie des deux roues motorisées

La géométrie des motocyclettes influence leur comportement dynamique. Certains paramètres clés sont :

1. L'angle de chasse : Il représente l'angle entre la colonne de direction et la perpendiculaire au sol passant par l'axe de la roue avant. Un angle de chasse plus grand favorise la stabilité, tandis qu'un angle plus faible permet une inclinaison plus rapide, mais peut entraîner des

instabilités.

2. La chasse : C'est la distance entre le point de contact du pneu avant avec la chaussée et l'intersection de l'axe de la colonne de direction avec le sol. Elle influe également sur le comportement routier de la moto.

3. L'empattement : C'est la distance entre les points de contact pneu/chaussée des roues avant et arrière. Un empattement plus long offre une plus grande stabilité, mais rend la moto moins maniable latéralement. Un empattement plus court réduit la stabilité, mais facilite les mouvements latéraux.

4. Le centre de gravité : Sa position, légèrement en avant du milieu de la moto et à une hauteur d'environ trente centimètres, est importante. Un centre de gravité plus haut entraîne un transfert de charge accru lors des accélérations ou des freinages, tandis qu'un centre de gravité plus bas atténue ces effets.

La combinaison de ces facteurs influe sur la stabilité, la maniabilité et le comportement de la moto dans différentes situations. [37]

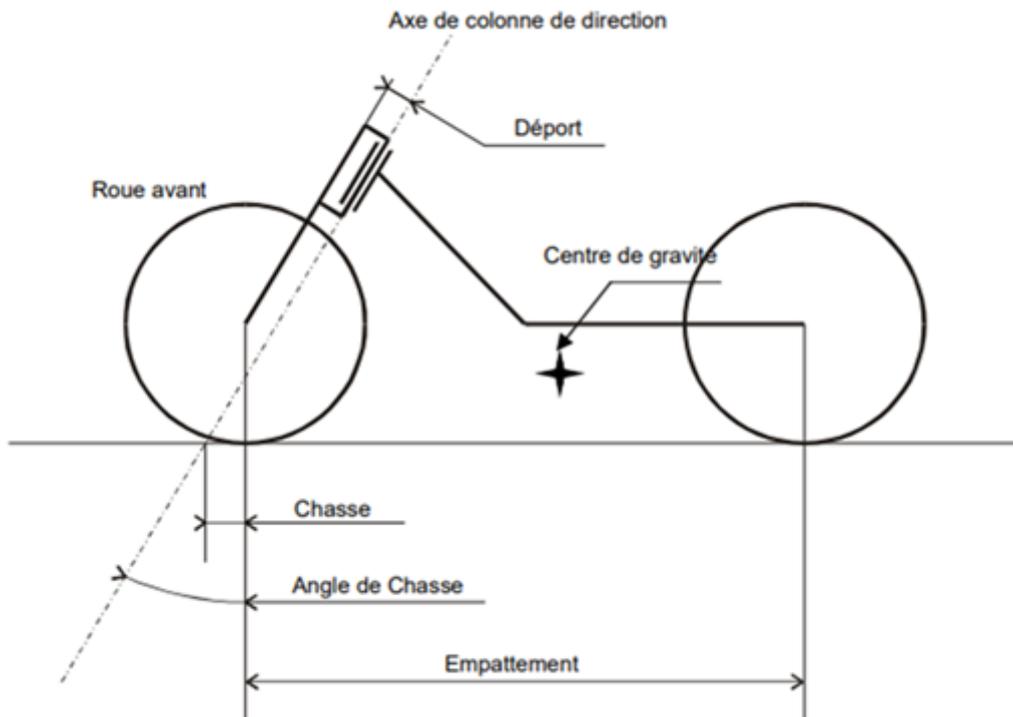


FIG. 3.1 : la géométrie des deux roues motorisées.[37]

2.4 Conception du châssis

2.4.1 Choix de type de châssis

Le cadre tubulaire est l'architecture la plus simple, couramment utilisée sur les vélos ou les motos de faible à moyenne cylindrée. Il se compose de trois tubes formant un triangle : la partie supérieure avant est reliée à la colonne de direction, tandis que la partie

inférieure arrière sert de point d'ancrage au bras oscillant ou à l'axe de la roue arrière. [35]

2.4.2 Contraintes de conception du châssis des motos

Dans la compétition moto, la rigidité torsionnelle du guidon et du pivot de la roue avant est essentielle pour surmonter les obstacles dans des disciplines comme le trial et le motocross. La rigidité latérale du sous-châssis qui supporte le siège est également importante pour une bonne manipulation. Renforcer le support de siège peut résoudre des problèmes de manipulation et de fractures de suspension. Réduire la masse totale de la moto permet d'améliorer les performances en termes d'accélération et de réactivité en manœuvre. Le transfert de charge lors du freinage et de l'accélération peut être réduit avec un empattement plus long, un centre de gravité plus bas et une réduction de la masse. La conception aérodynamique doit prendre en compte la réduction de la traînée, mais peut rendre la stabilité plus difficile à atteindre. Les cadres de moto doivent être conçus pour éviter le flambement en utilisant des tubes ronds de grand diamètre et de faible épaisseur. Les structures triangulées boulonnées peuvent présenter des avantages en termes de réparations simplifiées, mais aussi des inconvénients en termes de mouvements dans les joints. Des facteurs de sécurité appropriés doivent être appliqués pour assurer une durée de vie suffisante du châssis en termes de fatigue. [38]

2.4.3 Conception du châssis tubulaire

On travaille sur des normes ergonomiques en conception du châssis principalement la hauteur de la selle, l'empattement, l'angle de chasse et la distance entre la selle et le guidon pour assurer un certain confort au motard.

Ces données sont basées sur les dimensions utilisées par différents constructeurs de motos.

TAB. 3.1 : les principales dimensions ergonomiques utilisées.

Empattement	1400 mm
Angle de chasse	25°
Distance entre la selle et le guidon	700 mm
Hauteur de la selle	800 mm

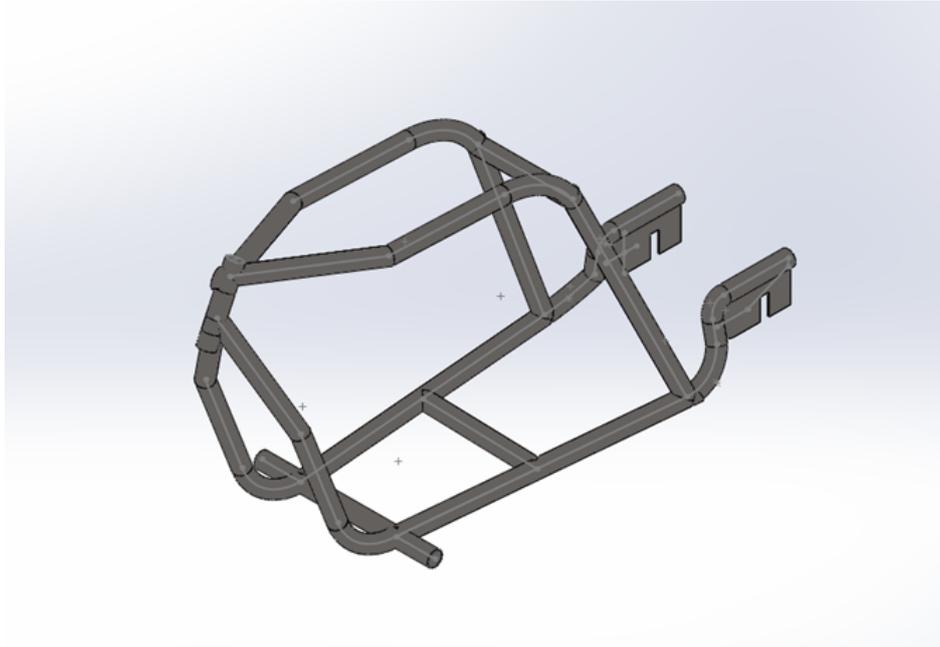


FIG. 3.2 : le châssis tubulaire pour la moto.

2.4.4 Simulations sur la résistance du châssis

D'après des Simulations effectués sur Ansys Workbench en basant sur la méthode des éléments finis sur la structure présentée ci-dessus

Les étapes de Simulations sont présentées ci-dessous :

Matériaux

Le matériau utilisé sera l'acier standard fabriqué par Anabib en Algérie et certifiée selon l'énorme EN 10305-3.

La fiche technique du matériau utilisé sur Ansys structure (Workbench)

Propriété	Valeur	Unité
Masse volumique	7850	kg m ⁻³
Coefficient isotrope sécant de dilatation thermique		
Coefficient de dilatation thermique	1,2E-05	C ⁻¹
Température de référence de déformation thermique zéro	22	C
Elasticité isotrope		
Dériver de	Module de Young et coefficien...	
Module de Young	2E+11	Pa
Coefficient de Poisson	0,3	
Module de compressibilité	1,6667E+11	Pa
Module de cisaillement	7,6923E+10	Pa
Contrainte alternée - Contrainte moyenne	Tabulaire	
Interpolation	Log-log	
Echelle	1	
Décalage	0	Pa
Paramètres de durée de vie		
Afficher le type de courbe	Durée de vie	
Coefficient de résistance	9,2E+08	Pa
Exposant de résistance	-0,106	
Coefficient de ductilité	0,213	
Exposant de ductilité	-0,47	
Coefficient de résistance cyclique	1E+09	Pa

FIG. 3.3 : Les propriétés mécanique de l'acier standard.

Le Maillage

On procède à l'utilisation d'un maillage fin afin de calculer la résistance du matériau avec précision.

Le maillage utilisé est illustré ci-dessous :

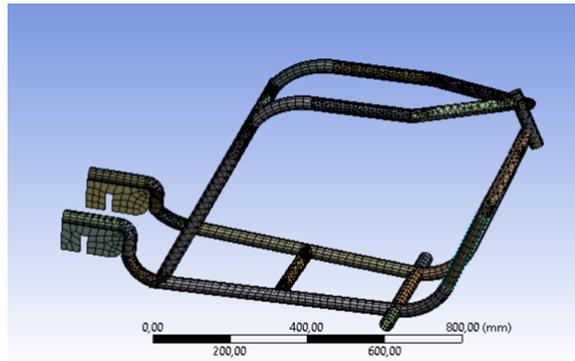


FIG. 3.4 : Le Maillage utilisée pour la simulation.

Les conditions aux limites

Les conditions limites utilisés sont :

- La force de gravité terrestre
- La masse de la batterie (20 kg)
- Supports fixes pour les fixations de la colonne de direction avec les fourches.
- Supports fixes pour les fixations du boîtier de la batterie.
- Supports fixes pour les fixations de la roue arrière.

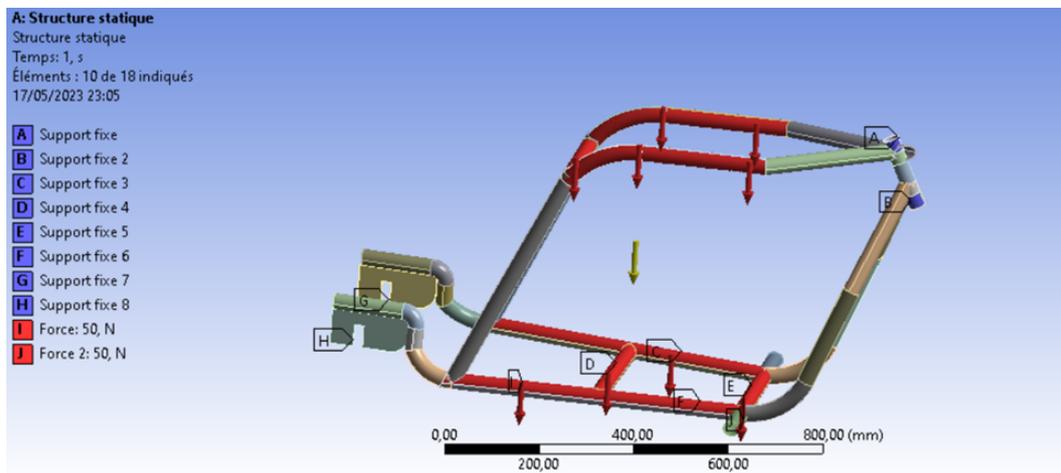


FIG. 3.5 : Les Conditions limites pour la simulation du Châssis.

Résultats

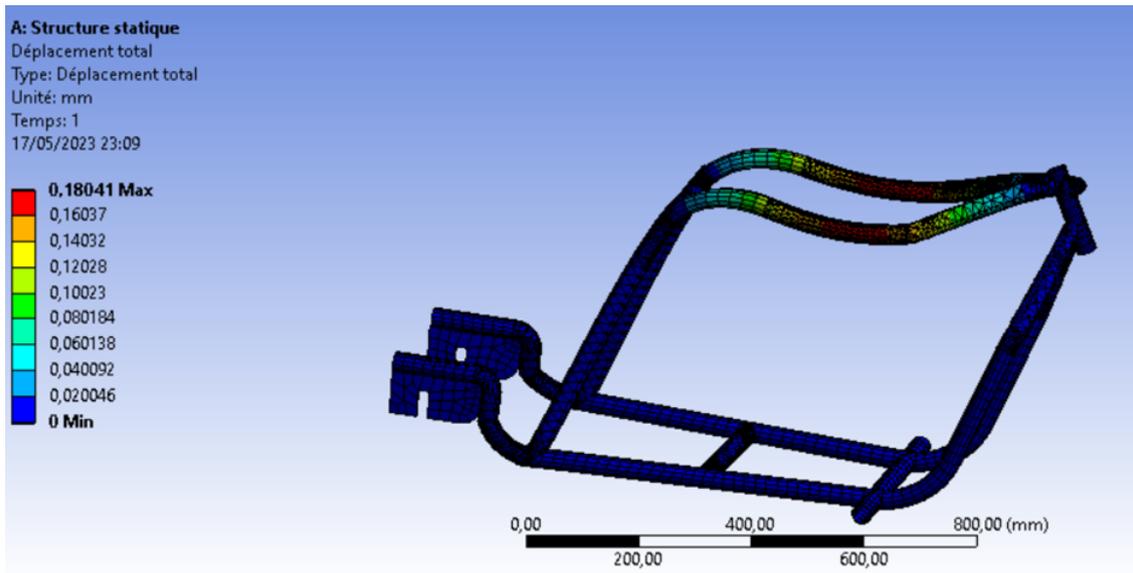


FIG. 3.6 : Le déplacement total du châssis.

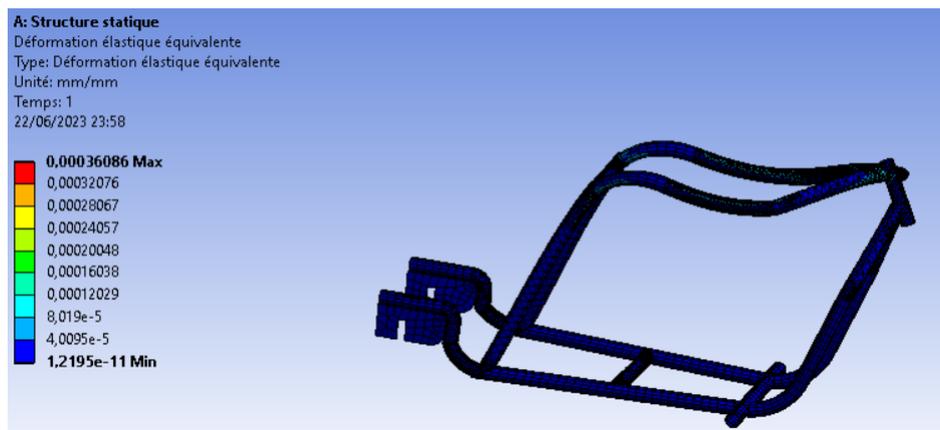


FIG. 3.7 : la déformation élastique équivalente..

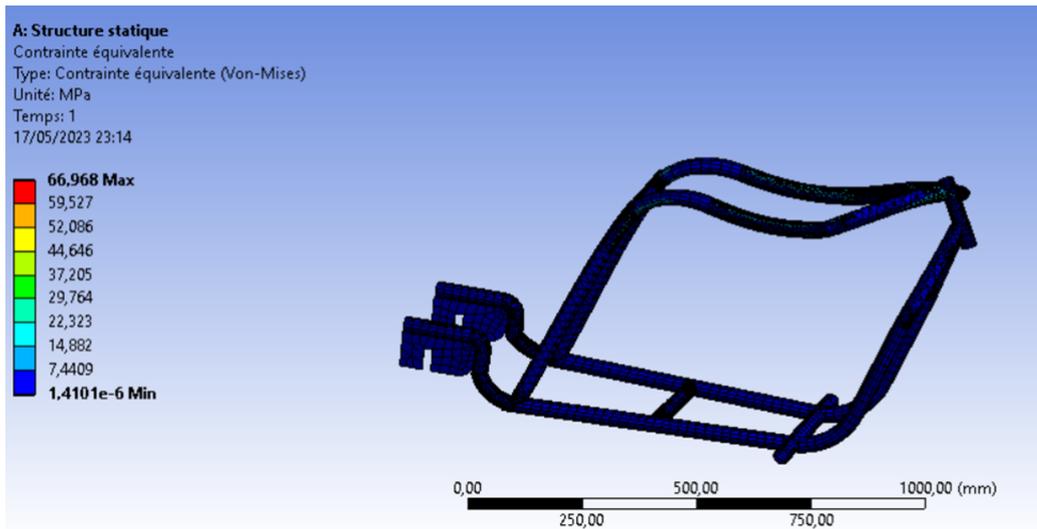


FIG. 3.8 : La contrainte équivalente selon Von-Mises.

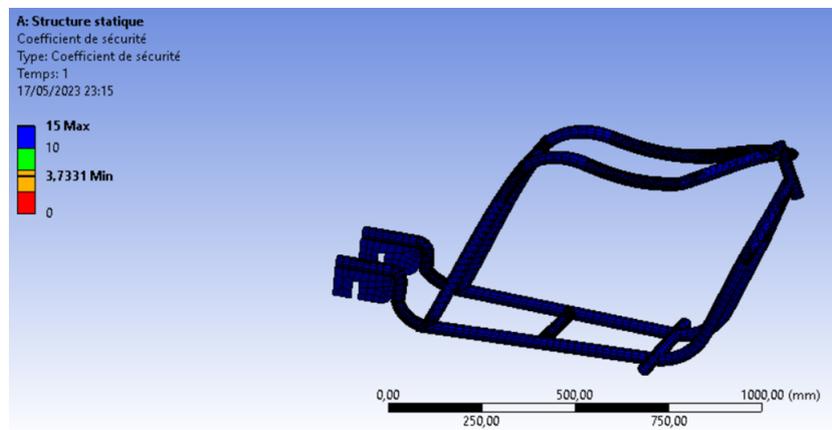


FIG. 3.9 : Le coefficient de sécurité de la structure.



FIG. 3.10 : Essai d'ergonomie de la moto.

2.4.5 Interprétation

Selon les Simulations effectuées sur Ansys Workbench, le tube utilisé sera de diamètre de 35 mm avec un épaisseur de 1.5 mm en Acier Standard.

Les résultats des simulations montrent un déplacement maximal de 0.18 mm, une déformation de 3.6×10^{-4} , et un coefficient de sécurité minimum de 3.7. Ces données indiquent que la structure est rigide et capable de résister aux charges appliquées.

2.5 Réalisation du Châssis

Le processus de réalisation du châssis est passé par plusieurs étapes :
1-La découpe du Tube en utilisant une meuleuse électrique.



FIG. 3.11 : meuleuse électrique.

2-Cintrage des tubes hydrauliquement.



FIG. 3.12 : Cintreuse Hydraulique.

3-Soudage à l'arc électrique

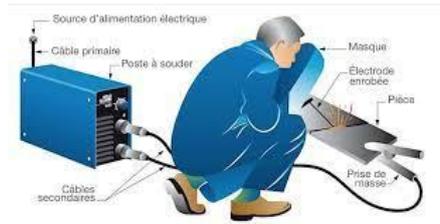


FIG. 3.13 : Soudage à l'arc électrique.

2.6 Conclusion

Cette section aborde les concepts et les caractéristiques des géométries des deux-roues motorisés, ainsi que la définition du châssis. Ensuite, les contraintes de conception du châssis tubulaire pour les motos sont examinées. Par la suite, nous procédons à la conception en tenant compte des normes ergonomiques. Enfin, nous vérifions la rigidité et la résistance de la structure aux charges avant de passer à l'étape de prototypage où on a décrit le processus utilisé pour la réalisation du châssis.

3 Motorisation

Introduction

Dans le domaine de la mobilité électriques, les moteurs à courant continu (DC) jouent un rôle crucial en convertissant l'énergie électrique en mouvement mécanique. Ces moteurs offrent des avantages significatifs tels que leur compacité, leur légèreté et leur efficacité énergétique. Deux types couramment utilisés de moteurs à courant continu sont les moteurs à balais et les moteurs sans balais

3.1 Type de moteur choisis

Les moteurs brushless sont plus couramment utilisés car ils ont un meilleur rendement grâce à l'absence de frottements des balais, et nécessitent moins d'entretien. Un contrôleur assiste le moteur en gérant divers aspects tels que la puissance, l'accélération, le frein moteur, la récupération et la gestion d'énergie. [39]

3.2 Dimensionnement du Moteur électrique

La direction du mouvement d'une moto est déterminée par les forces agissant sur elle dans cette direction. Si une moto remonte une pente, l'effort de traction T est ce qui la propulse, il est généré par le couple produit par le moteur BLDC installé sur la roue arrière. Toutefois, lors du déplacement de la moto, des forces résistantes se développent suite à son interaction avec l'environnement externe, ces forces s'opposent au mouvement de la moto. Elles comprennent en général la résistance au roulement, la traînée aérodynamique et la force de gravité. [40]

En se basant sur le principe fondamental de la dynamique, on peut écrire l'équation du

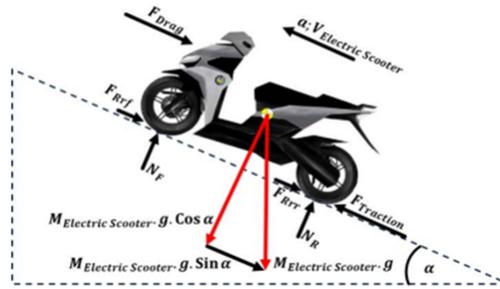


FIG. 3.14 : Les forces intervenantes dans la modélisation dynamique de la moto. [40]

mouvement de la moto dans la direction longitudinale comme suit [40] :

$$a = \frac{T - F_{rr} - P_x - F_{ad}}{M} \quad (3.1)$$

a : désigne l'accélération de la moto en $[m/s^2]$

F_{rr} : désigne la résistance au roulement en $[N]$

P_x : désigne la composante longitudinale de la force de pesanteur en $[N]$

T : désigne la force de traînée aérodynamique en $[N]$

M : désigne la masse du véhicule en $[kg]$

3.2.1 La résistance au roulement F_{rr}

La résistance au roulement ou la traînée de roulement est un phénomène physique qui s'oppose au mouvement de roulement d'un objet. Contrairement aux frottements qui sont causés par des surfaces en contact, la résistance au roulement est due à la déformation élastique des pièces en contact. Il est donc différent de la résistance au pivotement d'un palier lisse ou de la résistance au glissement. Toutefois, son effet est le même, car il s'oppose également au mouvement de l'objet. [41]

La force de résistance de roulement est caractérisé avec l'équation :

$$F_{rr} = C_{rr} M g \cos \alpha \quad (3.2)$$

g : désigne l'accélération du champ de gravitation terrestre ($g = 9.8m/s^2$)

α : désigne l'angle d'inclinaison de la route si elle est inclinée.

C_{rr} : désigne le coefficient de résistance au roulement, il dépend de l'état de surface de la route.

3.2.2 La force de traînée aérodynamique F_{ad}

La traînée aérodynamique est la force exercée sur un véhicule en mouvement par l'air atmosphérique. Cette force est similaire à celle d'un frottement et dépend de la vitesse de déplacement de la moto et de sa forme géométrique. [41]

$$F_{ad} = \frac{1}{2} C_d \rho A_f v^2 \quad (3.3)$$

F_{ad} : La force de trainée aérodynamique en Newton [N].

C_d : Le coefficient de trainée.

ρ : La masse volumique de l'air 1.225 kg/m^3

A_f : La surface frontale de la moto.

3.2.3 La force de pesanteur P_x

La force de gravité est un effort résistant résultant du poids du véhicule lorsque celui-ci monte une pente. Cette force dépend de l'angle d'inclinaison de la route. [41]

$$P_x = Mg \sin \alpha \quad (3.4)$$

En remplaçant les équations des forces de résistance de roulement, force de trainée aérodynamique et la force de pesanteur dans l'équation (3.1) on trouve l'effort nécessaire de propulsion est calculée ci-dessous :

$$T = Mg \sin \alpha + \frac{1}{2} C_d \rho A_f v^2 + C_{rr} Mg \cos \alpha + Ma \quad (3.5)$$

La vitesse de la moto est déterminée par un profil de vitesse appelé "cycle de conduite". Ce cycle est un modèle qui simule les conditions de conduite réelles en incluant des accélérations, des décélérations et des paliers à vitesse constante sur une période donnée. Le cycle de conduite peut être considéré comme un "scénario" qui permet de se rapprocher au plus près de la réalité.

Le NEDC (New European Driving Cycle) est l'un des cycles les plus utilisés pour déterminer la consommation et les émissions de CO₂ d'un véhicule. Cette norme vise à simuler les comportements d'un automobiliste dans des conditions de conduite réalistes, afin de mieux estimer la consommation et les émissions de CO₂ en situation réelle. [42]

Le NEDC est composé de deux parties : la première partie est le cycle de conduite urbain

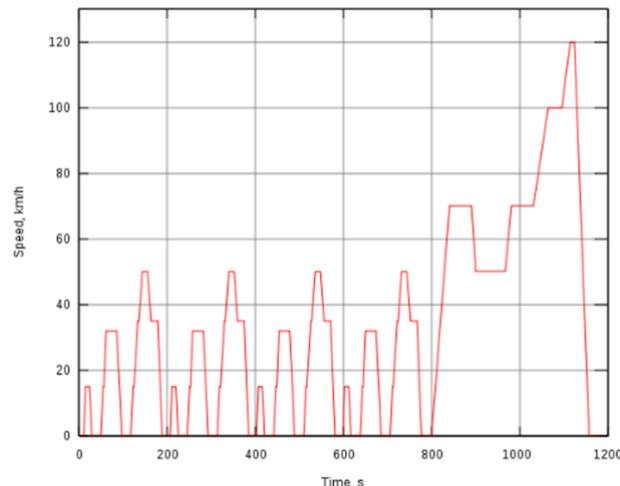


FIG. 3.15 : Le nouveau cycle européen de conduite (NEDC).

ECE-15, qui est répété quatre fois et s'étend de 0 s à 780 s. La seconde partie est le cycle EUDC, qui s'étend de 780 s à 1180 s.

Pour le cycle de conduite urbain ECE-15, est répété 4 fois entre [0 à 780] secondes pour mieux tester la partie urbaine avec des vitesses qui ne dépassent pas 50 km/h.

Le second cycle est utilisé pour des tests hors la zone urbaine avec des vitesses maximales de 120 km/h. Pour notre PFE, on travaille sur une moto électrique pour un usage urbain avec une vitesse maximale de 50 km/h donc on travaille sur l'intervalle de [0 à 780] pour choisir le moteur qui développe la puissance nécessaire pour le cycle urbain.

Afin de dimensionner le moteur BLDC monté sur la roue arrière de la moto, il faut calculer la puissance mécanique nécessaire pour vaincre toutes les forces résistantes qui s'opposent au mouvement de la moto.

$$P = T \times v \quad (3.6)$$

Il faut noter que cette puissance représente la puissance nécessaire pour faire tourner les roues de la moto, réellement elle est inférieure à la puissance délivrée par le moteur à cause des différentes pertes qui se produisent au niveau du différentiel, dans le cas général mais dans notre cas comme le moteur est monté sur la roue arrière on n'a pas des pertes au niveau du différentiel. [42]

$$P_{moteur} = \frac{T \times v}{\eta_{moteur}} \quad (3.7)$$

η_{moteur} : représentent le rendement du moteur.

La fréquence de rotation des roues peut être calculée avec l'équation suivante :

$$\Omega = \frac{v}{r} \quad (3.8)$$

En utilisant le rapport de transmission du différentiel k_{diff} , il est possible de calculer facilement la vitesse de rotation du moteur :

$$\Omega_{moteur} = k_{diff}\Omega \quad (3.9)$$

$k_{diff} = 1$ dans notre cas comme on a pas de transmission ou de réducteur de vitesse.

Le couple moteur est une autre grandeur importante à déterminer, car il représente la force que le moteur BLDC doit exercer pour faire tourner les roues de la moto :

$$C_{moteur} = \frac{P_{moteur}}{\Omega_{moteur}} = \frac{Tr}{\eta_{diff}k_{diff}} \quad (3.10)$$

Le couple de démarrage de la moto correspond au couple nécessaire pour mettre la moto en mouvement à partir de l'arrêt complet. Il est calculé à vitesse nulle en utilisant la formule suivante :

$$C_{démarrage} = C_{moteur}|_{v=0} = \frac{T|_{v=0}r}{\eta_{diff}k_{diff}} \quad (3.11)$$

Avec :

$$T|_{v=0} = Mg \sin \alpha + C_{rr}Mg \cos \alpha + Ma \quad (3.12)$$

Le couple de démarrage dépend principalement de l'inertie de la moto principalement la masse et l'accélération.

TAB. 3.2 : Donnés de la moto pour dimensionner le moteur.

Masse totale avec le motard (Kg)	130
Coefficient de résistance au roulement	0.02
Coefficient de traînée	0.7
Rendement du moteur (supposé)	0.7
Surface frontale (m ²)	0.9
Le rayon de la roue (m)	0.125

On construit un modèle sur SIMULINK afin de dimensionner le moteur et la batterie et simuler la température des batteries. Pour le dimensionnement du moteur on a implémenté les équations de dynamique de mouvement de la moto pour nous calculer la puissance du moteur (kW), le couple moteur (N.m) et la fréquence de rotation (tr/min) en fonction du temps en secondes.

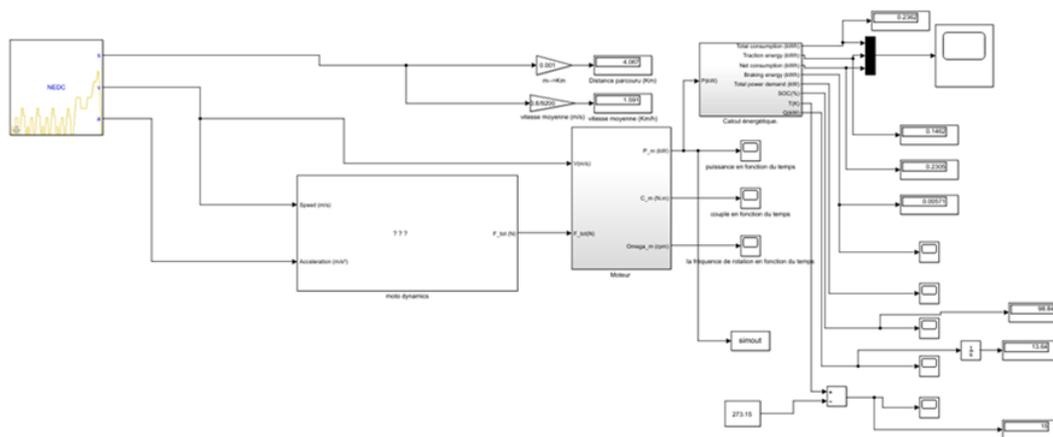


FIG. 3.16 : Le dimensionnement du moteur électrique en fonction de NEDC. [42]

Le bloc NEDC indique le fichier de vitesse et d'accélération en fonction du temps utilisé pour un dimensionner la puissance motrice d'ailleurs il contient le cycle urbain ECE-15 et le cycle extra urbain EUDC.

Le bloc Moto dynamique contient les forces de résistance de mouvement : force d'inertie, force de résistance de roulement, force de résistance aérodynamique modélisé ci-dessus dans les équations (3.1), (3.2), (3.3). Ce bloc contient comme entrées (le coefficient de résistance de roulement, coefficient de traînée, surface frontale, masse totale de la moto, la gravité terrestre, l'inclinaison) et on aura comme sortie la force totale de propulsion.

Le bloc moteur a pour entrées la vitesse et la force totale de propulsion, et pour sorties la puissance mécanique, le couple et la fréquence de rotation du moteur, en fonction de chaque instant. Ces sorties sont déterminées à l'aide des équations (3.6), (3.7), (3.8), (3.9) et (3.10), et chacune des valeurs est tracée en fonction du temps à l'aide d'un "scope".

3.3 Les résultats de dimensionnement

En observant les résultats affichés sur Simulink on observe les différents paramètres de dimensionnement du moteur :

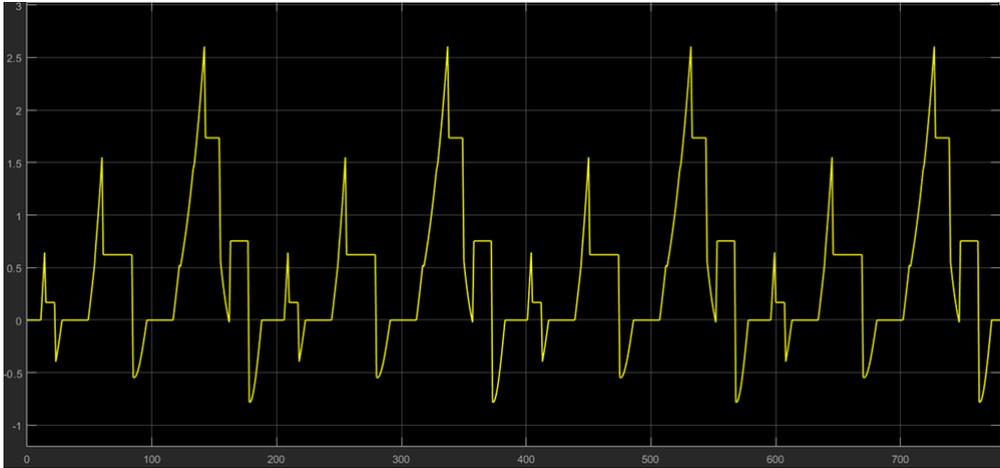


FIG. 3.17 : La puissance du moteur (kW) en fonction du temps (s).

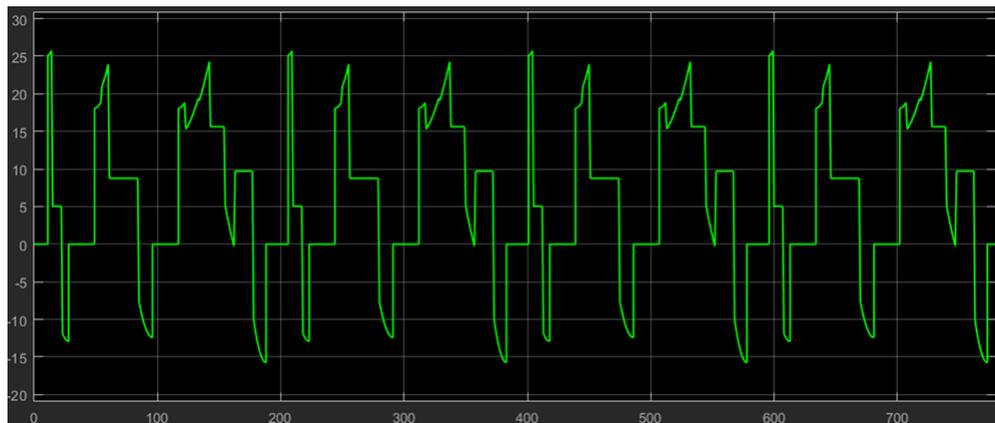


FIG. 3.18 : Le couple moteur en (N.m) en fonction du temps (s).

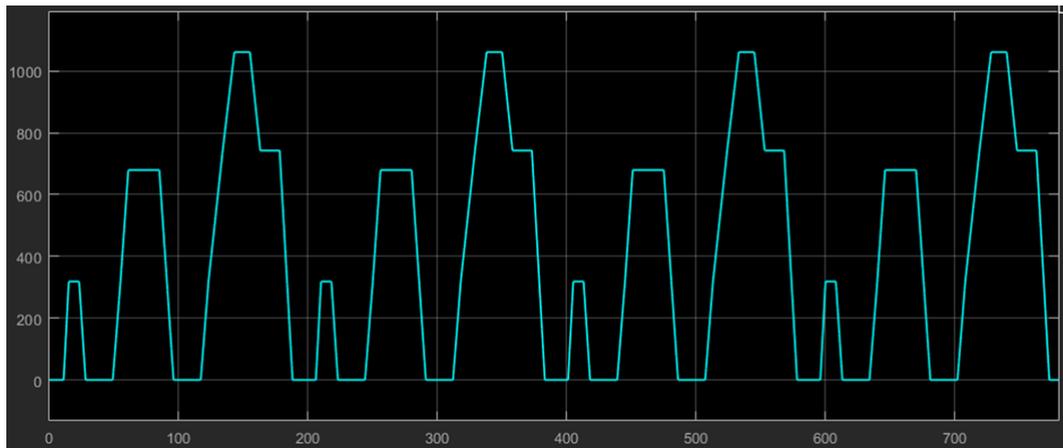


FIG. 3.19 : La fréquence de rotation (tr/min) en fonction temps (s).

3.4 Interprétation

Une observation importante des résultats est la présence de deux phases distinctes dans chaque courbe, en accord avec le profil de vitesse du cycle NEDC. Pour la courbe de puissance (figure 3.17), on observe une première phase allant de l'instant initial à 0 s jusqu'à $t = 780$ s, qui correspond à la partie urbaine du cycle NEDC. Dans cette phase, on observe quatre répétitions de la même allure, avec une puissance nécessaire à la propulsion augmentant lors des accélérations et se stabilisant lors des paliers à vitesse constante. Cette augmentation de puissance est due à l'importance de la masse totale (moto et le motard) (environ 200 kg) qui engendre des forces d'inertie prépondérantes lors des changements de mouvement et particulièrement lors des accélérations, nécessitant une puissance plus élevée.

Si la vitesse maximale de la moto est de 50 km/h, alors la puissance nécessaire pour la propulsion de celle-ci varie entre 1,5 et 1,7 kW. Cette puissance maximale est suffisante pour effectuer un cycle urbain. Les parties de la courbe situées au-dessus de l'axe du temps qui donnent des puissances négatives durant les périodes de décélération s'expliquent par le fonctionnement du moteur en tant que dynamo. Cela signifie que le moteur absorbe de la puissance mécanique au lieu d'en produire. Certaines motos électriques utilisent le freinage régénératif pour récupérer une grande partie de l'énergie cinétique de la moto et la transformer en électricité pour recharger les batteries au lieu de la perdre en chaleur. Selon la (figure 3.18) le couple moteur entre 16 à 19 N.m entre 0 à 728 s avec une variation de vitesse de rotation de 1050 à 1100 tr/min observé sur la (figure 3.19).

3.5 Le moteur utilisé pour le prototype

D'après l'étude comparatif entre les différents types de moteur, on utilise le moteur BLDC pour des raisons citées ci-dessus. Selon les résultats de dimensionnement la puissance nécessaire pour entrainer la moto pour une vitesse maximale de 50 km/h varie entre 1500w a 1700 w.

Pour des raisons de disponibilité sur le marché Algérien on utilise le moteur BLDC Monté sur la roue d'une moto électrique de chine appelé (Citycoco) de puissance de 1500 W,

60V et 50Hz



FIG. 3.20 : Moteur BLDC 1500W montée sur un scooter électrique (citycoco). [43].

3.6 Alimentation et commande

L'alimentation du moteur BLDC se fait par une Batterie lithium-ion connecté a un circuit de commande.

Le moteur brushless ne nécessite pas de commutation mécanique grâce à l'utilisation d'un contrôleur électronique qui assure la commande des différentes phases du moteur en fonction de sa position. Pour choisir un contrôleur brushless, il est important de considérer la consommation en ampères (A) et la tension en volts (V) du moteur. Ces informations sont généralement fournies par le fabricant du moteur. La taille et le poids du contrôleur sont également des facteurs importants à prendre en compte en fonction de l'application du moteur.

Il est recommandé de surdimensionner le contrôleur d'environ 50% par rapport à l'intensité maximale qu'il devra supporter. Cela garantit un fonctionnement optimal et une durée de vie prolongée. Les contrôleurs brushless offrent plusieurs options paramétrables :

1. **Frein moteur**
2. **Type de batterie** : Définit la nature de la batterie utilisée (Nixx ou LiPo) et le nombre d'éléments. Un mauvais paramétrage peut entraîner un fonctionnement incorrect du moteur et une décharge rapide de la batterie.
3. **Seuil de coupure moteur** : Définit le niveau de tension auquel le contrôleur coupe l'alimentation du moteur pour préserver la batterie.
4. **Coupure moteur** : Choix entre soft, medium ou hard.
5. **Sens de rotation** : Permet de choisir le sens de rotation du moteur (normal ou inversé).
6. **Démarrage** : Règle la manière dont le moteur démarre (doux, moyen, normal).

7. **Timing** : Réglage de l'avance à l'allumage. Un timing plus élevé offre une puissance supérieure, mais avec une consommation d'énergie accrue.
8. **Fréquence de découpage PWM** : Règle la fréquence des impulsions électriques pour réguler la puissance délivrée au moteur. Une valeur de 8kHz convient généralement.
9. **Régime constant** : Maintient une vitesse de rotation constante du moteur, utilisé principalement sur les hélicoptères.

Il est recommandé de consulter les instructions du fabricant pour une utilisation optimale du contrôleur brushless [44]

3.7 Le Contrôleur utilisé pour le prototype

Le choix du contrôleur dépend de la puissance et la tension du moteur, comme on a utilisé le moteur de city coco 1500w, on utilise son contrôleur associé pour faciliter la connexion entre le moteur, la batterie et l'accélérateur et le reste des accessoires.



FIG. 3.21 : Le controlleur du moteur citycoco 1500W. [45]

3.8 Conclusion

Après avoir réalisé une étude comparative approfondie des différents types de moteurs, il a été conclu que le moteur sans balais à courant continu (BLDC) était le choix optimal pour les exigences spécifiques de notre projet. Les avantages clés du moteur BLDC, tels que sa fiabilité, son rendement énergétique et sa durée de vie plus longue, ont influencé notre décision.

Dans le cadre du dimensionnement de notre système de propulsion sur SIMULINK en intégrant les contraintes de dimensionnement, les résultats obtenus indiquent qu'une puissance de 1500 à 1700 watts est nécessaire pour permettre à la moto électrique d'atteindre une vitesse maximale de 50 km/h.

Tenant compte des contraintes de disponibilité sur le marché algérien, nous avons opté pour l'utilisation d'un moteur BLDC monté sur la roue, qui est couramment utilisé dans

une moto électrique chinoise appelée "Citycoco". Ce moteur spécifique a une puissance de 1500 watts, une tension de 60 volts et une fréquence de 50 Hz, ce qui correspond aux spécifications requises pour notre application.

4 Batterie

Introduction

Une batterie lithium-ion est un type de batterie rechargeable qui utilise du lithium comme matériau actif. Elle présente plusieurs avantages, notamment une densité d'énergie élevée (environ deux à cinq fois supérieure à celle des batteries nickel-hydrure métallique) ainsi qu'une absence d'effet mémoire. De plus, elle a une auto-décharge relativement faible comparée à d'autres types de batteries. Cependant, son coût reste encore assez élevé, ce qui a limité son utilisation aux systèmes de petite taille pendant longtemps. [46]

4.1 Fonctionnement de Batterie Lithium-ion

La batterie lithium-ion fonctionne grâce à un échange réversible d'ions lithium entre une électrode positive en oxyde de métal de transition lithié (dioxyde de cobalt ou manganèse) et une électrode négative en graphite. Un électrolyte aprotique est utilisé pour éviter la dégradation des électrodes et pour maintenir la stabilité de la batterie. La tension nominale d'un élément Li-ion est de 3,6 ou 3,7 V.

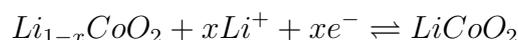
Pour assurer la sécurité, un système électronique de protection embarqué (BMS) est intégré dans la batterie pour prévenir une charge ou une décharge trop profonde et équilibrer les tensions entre les éléments dans le cas de batteries multiples en série. Les courants de charge et de décharge admissibles sont généralement plus faibles que pour d'autres technologies.

Les batteries Li-ion industrielles de grande puissance, grâce à des améliorations chimiques et une gestion électronique optimisée, peuvent avoir une durée de vie allant jusqu'à quinze ans. Elles sont utilisées dans des domaines variés tels que l'aéronautique, les véhicules hybrides et électriques, les systèmes de secours, les navires, etc. Par exemple, les sondes spatiales Galileo sont équipées de batteries Li-ion prévues pour une durée de vie de douze ans. Les batteries Li-ion sont devenues une technologie essentielle pour de nombreuses applications à grande échelle.

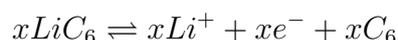
La réaction électrochimique dans une batterie Li-ion implique l'accumulation et la libération d'ions lithium. Pendant la décharge, les ions Li^+ sont libérés du graphite et se déplacent vers l'oxyde de cobalt. Lors de la charge, les ions Li^+ sont relâchés par l'oxyde de cobalt et retournent à la phase graphitique où ils sont à nouveau stockés. [46]

Lors de la décharge de l'accumulateur, cela se traduit par les équations chimiques suivantes :

à l'électrode (+) :



à l'électrode (-) :



Pendant la charge, les réactions électrochimiques se produisent en sens inverse par rapport à la décharge. L'ion Li^+ est libéré par le graphite et se déplace vers l'oxyde de cobalt qui est en état de sursaturation. Cela conduit à la production d'oxyde de lithium Li_2O , qui ne peut plus restituer l'ion Li^+ , limitant ainsi le processus de décharge.



Une surcharge de 5,2 V conduit à la synthèse d'oxyde de cobalt (IV) CoO_2 :

Les ions lithium se déplacent entre les deux électrodes de la batterie lithium-ion pendant chaque cycle de charge/décharge. Cependant, la réversibilité est possible seulement pour une fraction $x < 0,5$. La capacité de la batterie est déterminée par la charge totale des ions lithium transportés divisée par la tension d'utilisation. Une mole d'ions lithium transportée d'une électrode à l'autre transporte une charge de 13 901 C, soit 41,7 kJ/g de lithium donneur d'électron, équivalent à 11,6 kWh/kg pour une tension de 3 V.

Dans une batterie lithium-ion fonctionnelle, la présence d'un anion comme le CoO_2 est nécessaire pour produire une décharge électrique. La capacité énergétique théorique de la batterie est d'environ 0,83 kWh/kg d'énergie électrique, mais sa capacité effective est réduite en raison de la masse des autres composants nécessaires pour son fonctionnement. La charge d'une batterie Li-ion se fait généralement en deux phases distinctes. La première phase utilise un courant limité pour assurer une charge rapide jusqu'à environ 80% de la capacité de la batterie. Ensuite, une deuxième phase à tension constante et courant décroissant est utilisée pour atteindre les 100% de charge en environ deux heures supplémentaires.

La tension de fin de charge des batteries Li-ion varie entre 4,1 et 4,2 volts et doit être respectée pour éviter la surcharge, car les batteries Li-ion sont sensibles à ce phénomène. Les spécifications de charge recommandées doivent être suivies en se référant à la fiche technique du fabricant.

Les batteries lithium-ion sont différentes des piles au lithium qui ne sont pas rechargeables. Les batteries Li-ion ont un faible taux d'auto-décharge, inférieur à 10% par an. La perte de capacité des batteries Li-ion est variable et dépend du modèle, du climat et du mode de recharge. En moyenne, la perte de capacité est d'environ 2,3% par an, avec les charges rapides pouvant accélérer ce processus. [46]

4.2 Recyclage des batteries lithium

Plusieurs usines de recyclage des batteries de véhicules électriques existent en Europe. En France, une usine expérimentale a été lancée en 2011 à Dieuze (Moselle) par Veolia et Renault, et va passer au stade industriel avec des aides du programme d'investissements d'avenir. La Société Nouvelle d'Affinage des Métaux (SNAM) en Aveyron traite également des accumulateurs, dont 8% de batteries d'automobiles, et prévoit d'ouvrir une usine de batteries recyclées en 2019 pour répondre à la demande croissante dans les secteurs industriels, du bâtiment et des énergies renouvelables. En Belgique, Umicore exploite une usine de recyclage de batteries à Hoboken près d'Anvers, tandis qu'en Allemagne, Saubermacher et sa filiale Redux Recycling ont inauguré une usine de recyclage de batteries pour véhicules électriques à Bremerhaven en 2018, avec une capacité de traitement de 10 000 tonnes par an. Cependant, en raison du faible volume de batteries en fin de vie, les partenaires ne prévoient de recycler que 2 000 à 3 000 tonnes par an au cours des prochaines années. [46]

4.3 Composition d'une Batterie lithium

La batterie lithium-ion est composée de plusieurs éléments essentiels. La cathode contient de l'oxyde de fer (CoO_2 ou LiFePO_4) et est responsable de l'attraction et du stockage des ions lithium pendant le fonctionnement de la batterie. Le collecteur en aluminium permet de collecter les électrons dans l'électrode, tandis que le séparateur empêche le passage des électrons d'une électrode à l'autre.

L'anode est composée de couches de carbone empilées appelées graphite, qui servent à stocker les ions lithium provenant de la cathode lors de la recharge de la batterie. Le collecteur de l'anode est généralement en cuivre et diffère de celui de la cathode pour faciliter la polarité positive et négative.

La couche SEI (Solid Electrolyte Interphase) se forme spontanément lors de la première recharge de la batterie et constitue une barrière solide empêchant les électrons de passer. Elle est composée d'un mélange d'ions lithium et d'électrolyte, formant une couche protectrice autour de l'anode.

L'électrolyte est crucial car il permet la circulation des ions lithium à travers les électrodes. Il peut être sous forme solide, liquide ou en gel, et facilite le transfert des ions lithium pour rendre la batterie rechargeable.

Le séparateur est équipé de pores permettant le passage des ions lithium tout en empêchant les électrons de circuler librement. Il évite les courts-circuits et assure une distribution uniforme des ions sur l'autre électrode.

En résumé, la batterie lithium-ion est composée d'une cathode avec de l'oxyde de fer, d'une anode en graphite, d'un collecteur en aluminium, d'une couche SEI, d'un électrolyte et d'un séparateur. Ces éléments interagissent pour permettre le stockage et la libération d'ions lithium, rendant la batterie rechargeable et efficace. [47]

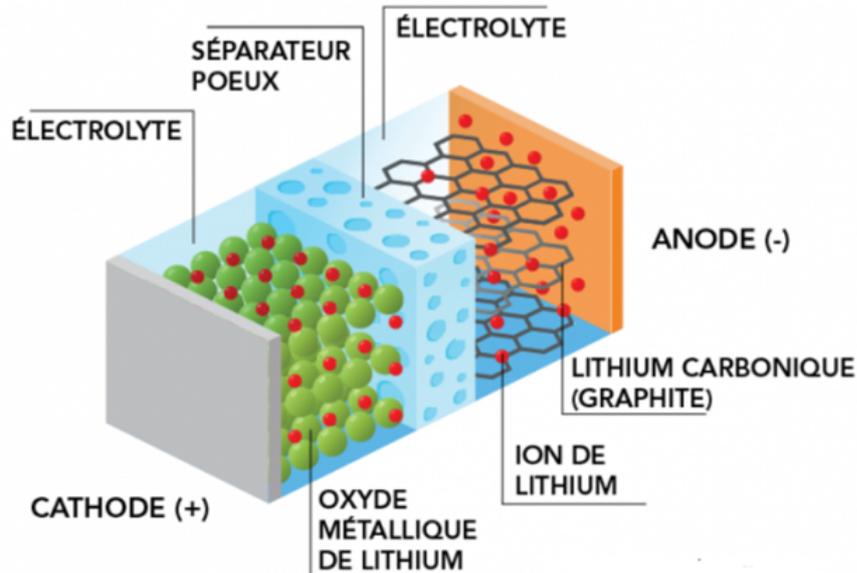


FIG. 3.22 : Les composants d'une batterie lithium. [48]

4.4 Types de cellules lithium-ion

Il y a trois types de formats de cellules de batterie : cylindrique, prismatique et pouch. Dans l'industrie automobile, ces différents formats sont utilisés par différents constructeurs. Par exemple, Tesla utilise principalement des cellules cylindriques, tandis que BMW utilise des cellules prismatiques (et Tesla utilise également des cellules LFP prismatiques pour certaines de ses batteries). Cependant, la plupart des autres constructeurs automobiles ont tendance à utiliser des cellules pouch. [49]



FIG. 3.23 : les différents types de cellules de batterie lithium.

4.5 Arrangement des cellules

Pour alimenter une moto ou un véhicule électrique, une seule cellule de batterie ne suffit pas en termes de tension et de capacité. Il est donc nécessaire d'organiser les cellules en utilisant des configurations en série et en parallèle.

Selon les lois régissant les propriétés des circuits, connecter les cellules en série permet d'augmenter la tension de la batterie. En revanche, la mise en parallèle des cellules permet d'augmenter l'intensité du courant. [49]

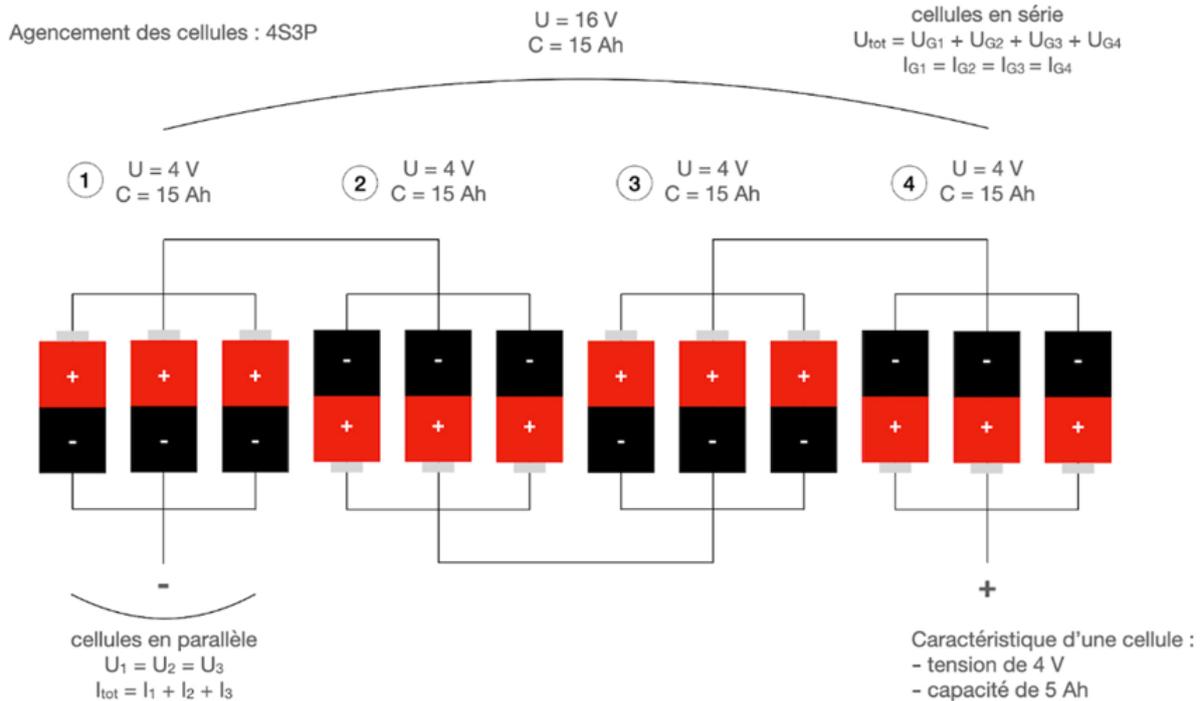


FIG. 3.24 : schéma explicative sur l'arrangement des cellules.[49]

4.6 Système de Management de Batterie (BMS) (Battery Management system)

Les batteries utilisées dans la mobilité électrique sont composées de multiples cellules connectées pour former un bloc. Cependant, ces cellules peuvent perdre en capacité au fil du temps en raison des cycles de charge et de décharge ainsi que des variations de température. Pour prévenir cela, un système de gestion de batterie (BMS) est essentiel. Le BMS surveille, contrôle et équilibre le bloc de batterie, prolongeant ainsi sa durée de vie et minimisant les effets du vieillissement. Mesurer précisément l'état de charge de chaque cellule est crucial pour optimiser les performances et intégrer les véhicules électriques au réseau électrique intelligent. La température est également un facteur important, et un système de gestion thermique est ajouté au bloc de batterie pour équilibrer électriquement et thermiquement les cellules. Le BMS surveille et contrôle divers paramètres tels que la tension, le courant, la température et l'état de santé de la batterie, en évitant les déséquilibres dangereux. Le courant de charge et de décharge est contrôlé pour prévenir les surtensions et sous-tensions. L'état de charge, la température et l'équilibrage des cellules sont des fonctions essentielles du BMS pour optimiser la durée de vie de la batterie. [13]



FIG. 3.25 : Battery Management system [50]

4.7 Dimensionnement et calcul énergétique de la batterie

4.7.1 Modélisation théorique

Afin de déterminer la consommation d'énergie, la batterie a été représentée sous forme d'un unique pack avec une capacité totale de 3 kWh et une tension à bornes ouvertes de 115 volts. Une représentation simple en haute tension du pack de batteries est illustrée dans la Figure 15. La modélisation en haute tension a été utilisée en accord avec les règles du règlement UN/ECE, qui considère tout système opérant avec une tension supérieure à 60V comme un système haute tension. Ainsi, le pack de batterie a été modélisé comme un pack de batterie haute tension. Pour dériver l'équation permettant de calculer la consommation d'énergie basée sur ce modèle, veuillez-vous référer à la Figure 3.25 [40]

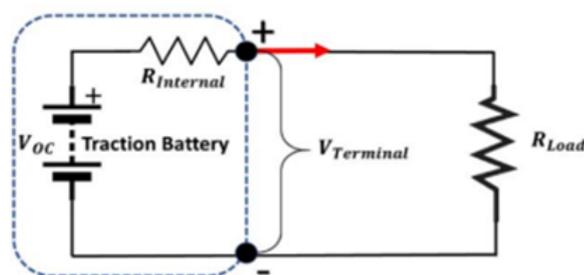


FIG. 3.26 : Modèle équivalent de batterie. [40]

$V_{Terminal}$: la tension de la batterie

D'après les lois de Kirchhoff la tension de la batterie est modélisée selon l'équation :

$$V_{terminal} = V_{OC} - R_{internal}I \quad (3.13)$$

$R_{internal}$: la résistance interne de la batterie

V_{OC} : la tension délivrée par la batterie.

La puissance électrique totale que la batterie délivre idéalement s'exprime comme suit :

$$P_{tot} = V_{OC}I \quad (3.14)$$

Une partie de cette puissance est dissipée par effet joule sous forme de chaleur la puissance électrique dissipée est :

$$P_{Joule} = IR_{internal}^2 \quad (3.15)$$

En conséquence, la puissance réellement produite par le pack batterie (c'est-à-dire absorbée par la charge) peut être calculée en soustrayant la puissance perdue de la puissance totale.

$$P_{nette} = P_{tot} - P_{Joule} = V_{OC}I - R_{internal}I^2 \quad (3.16)$$

En manipulant l'équation, en exprimant la puissance nette égale à la puissance absorbée par la charge, on obtient une équation quadratique en I :

$$\begin{aligned} P_{nette} &= P_{charge} \\ I^2R_{internal} - V_{OC}I + P_{charge} &= 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

En résolvant cette équation de second degré, on peut déterminer le courant total traversant la batterie en fonction de ses paramètres caractéristiques et de la demande de puissance de la charge. Ainsi, on obtient :

$$I = \frac{V_{OC} \pm \sqrt{V_{OC}^2 - 4R_{internal}P_{charge}}}{2R_{internal}} \quad (3.18)$$

La solution positive de l'équation de second degré est rejetée car elle n'est jamais nulle physiquement. Même lorsque la demande en puissance est nulle, les batteries déchargent du courant, ce qui n'est pas normal. La deuxième solution peut changer de signe et indiquer soit une décharge ($I_{batt} > 0$) soit une charge ($I_{batt} < 0$) des batteries, ce qui est cohérent avec l'état de charge. Par conséquent, l'équation finale reliant le courant traversant les batteries aux caractéristiques de celles-ci et à la demande en puissance est :

$$I = \frac{V_{OC} - \sqrt{V_{OC}^2 - 4R_{internal}P_{charge}}}{2R_{internal}} \quad (3.19)$$

Dans le cas d'une moto électrique, la puissance électrique totale peut être exprimée comme la somme de deux termes : la puissance consommée par le moteur brushless, notée $P_{machine}$, qui représente la partie majoritaire de la puissance totale, et la puissance auxiliaire, notée P_{aux} , qui est destinée à alimenter tous les autres accessoires électriques de la moto (phares, radio, etc.). Ainsi, on a :

$$P_{charge} = P_{machine} + P_{aux} \quad (3.20)$$

En fonction du mode de fonctionnement de la machine, moteur ou générateur, la puissance de cette dernière est liée à la puissance mécanique nécessaire pour entraîner le véhicule. Moteur quand la batterie fournit l'énergie à la machine BLDC pour entraîner la roue arrière de la moto.

Génératrice quand la machine BLDC recharge la batterie par un système de freinage régénératif.

Cette relation est exprimée par l'équation suivante :

En Mode Moteur :

$$P_{machine} = \frac{P_{mcanique}}{\eta_{tr}\eta_m} = \frac{1}{\eta_{tr}\eta_m} (Mg \sin \alpha + \frac{1}{2}C_d\rho A_f v^2 + C_{rr}Mg \cos \alpha + Ma) \quad \text{avec } a > 0 \quad (3.21)$$

En Mode Génératrice :

$$P_g = P_{mcanique}\eta_{tr}\eta_m = \eta_{tr}\eta_m (Mg \sin \alpha + \frac{1}{2}C_d\rho A_f v^2 + C_{rr}Mg \cos \alpha + Ma) \quad \text{avec } a < 0 \quad (3.22)$$

La consommation d'énergie pour un cycle de conduite donné à l'aide de l'équation suivante :

$$E_{consommation} = \int P_{machine} dt + P_{aux}\tau_{cycle} \quad (3.23)$$

L'équation (3.21) est utilisée pour calculer la consommation d'énergie en propulsion tel que $P_{machine} > 0$ τ_{cycle} : Désigne la durée totale du cycle de conduite considéré.

La récupération d'énergie lors du freinage peut être calculée aussi comme suit :

$$E_{recup} = \int_{\tau_{freinage}} P_{machine} dt \quad (3.24)$$

La désignation de l'intervalle de temps total dans lequel la machine fonctionne en tant qu'un générateur ($P_{machine} < 0$) est notée $\tau_{freinage}$.

Une autre grandeur à surveiller lors de la conduite des véhicules électriques, qui est l'état de charge des batteries « state of charge » noté SOC (%), il est défini par l'équation suivante :

$$SOC(\%) = SOC_0(\%) - 100 \times \frac{\int I_{batt} dt}{C_n} \quad (3.25)$$

SOC_0 (%) : le niveau initial de la charge en pourcentage.

C_n : la capacité nominale de charge en Ampère-heure (Ah).

4.7.2 Calcul de la consommation et la récupération d'énergie électrique

Pour la simulation on reprend le modèle utilisé pour le dimensionnement du moteur et on ajoute un bloc de calcul énergétique de batterie en implémentant les équations : (3.20), (3.21) (3.22) (3.23) (3.24) (3.25) :

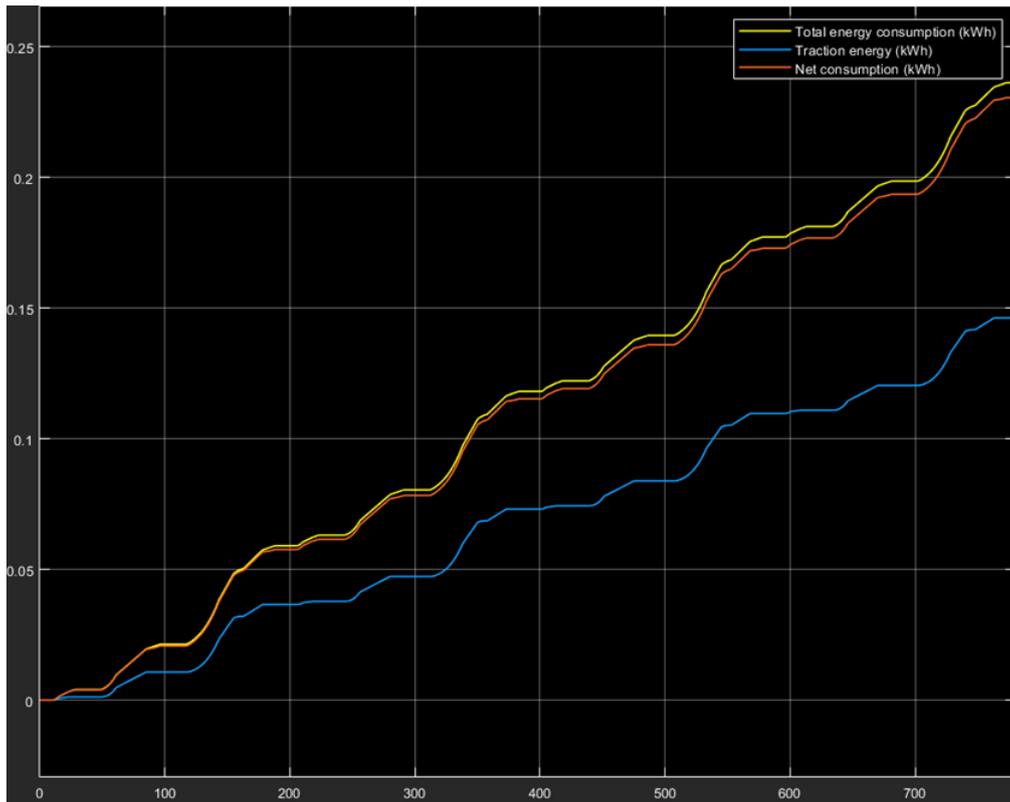


FIG. 3.28 : l'énergie total consommé (KWh), la consommation nette (KWh) et l'énergie nécessaire pour la traction (KWh) en fonction du temps (s)

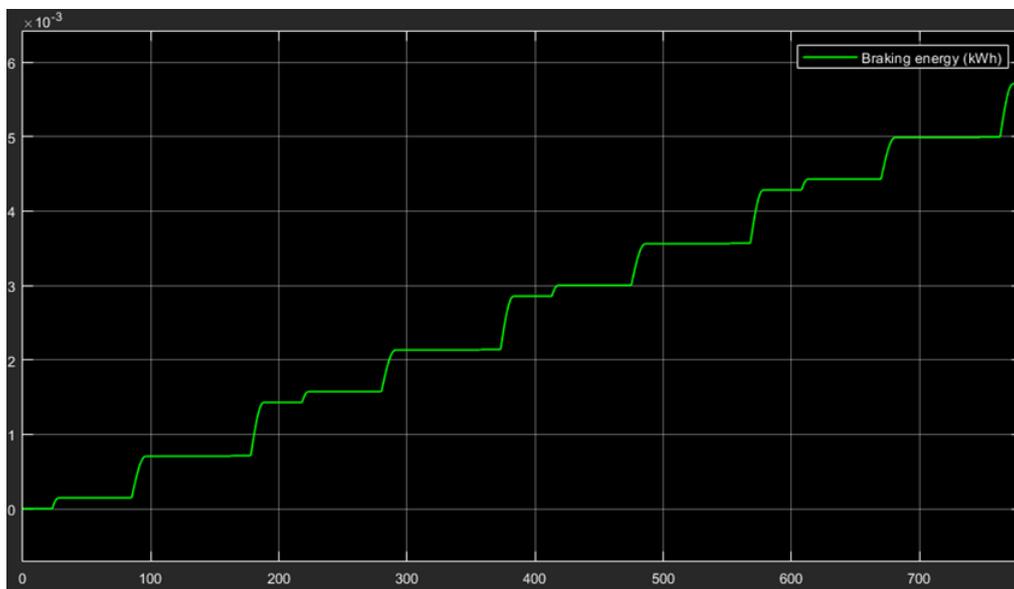


FIG. 3.29 : l'énergie récupéré par le freinage régénérative (KWh) en fonction du temps (s).

Durant ce cycle l'énergie totale consommée est environ 0.2362 KWh tel que 0.1462 KWh est nécessaire pour entrainer la machine BLDC et le taux d'énergie récupéré par le freinage régénératif est environ de 0.00571 KWh.

Le rendement du freinage régénératif :

TAB. 3.3 : Résultats de Calcul énergétique des Batteries sur SIMULINK

Distance totale parcourue	4.067 km
Énergie totale nécessaire pour la traction	0.1462 kWh
La consommation électrique totale	0.2362 kWh
La récupération d'énergie par freinage	0.00571 kWh
La consommation nette	0.2305 kWh
La consommation nette par un km	56.67 Wh/km
La consommation totale par un km	58.07 Wh/km
La puissance électrique maximale demandé	4.3 kW

$$n_{regeneration} = \frac{|\int_{\tau_{freinage}} P_{machine} dt|}{|\int_{\tau_{propulsion}} P_{machine} dt|} \times 100 \quad (3.26)$$

D'après le rendement de régénération on a 3.90% de l'énergie cinétique de la moto est transférée en énergie électrique dans cette phase le moteur BLDC joue le rôle de générateur et charge la batterie lithium. Vu le rendement de régénération et en analysant les couts d'installation sa ne serait pas rentable d'installer un kit de régénération.

Pour déterminer la taille de la batterie nécessaire, il est important de fixer l'autonomie de la moto, qui correspond à la distance qu'elle peut parcourir avec une charge complète et s'exprime en kilomètres. Pour ce projet, l'autonomie souhaitée est de 50 km. En utilisant les calculs effectués pour évaluer la consommation électrique moyenne de la moto par kilomètre, qui est de 59,60 Wh/km, il est possible de déterminer la capacité énergétique totale requise pour la batterie (notée E_{batt}). Cette capacité représente la puissance électrique que la batterie peut fournir pendant une heure et s'obtient en multipliant la consommation électrique moyenne par l'autonomie souhaitée. [42]

$$E_{batt} = 50 \times 59,60 = 2,980 kWh \quad (3.27)$$

Après avoir déterminé l'autonomie de la moto électrique, il est important de fixer la tension nominale V_{OC} pour pouvoir déterminer la capacité nominale de charge C_n en Ampère-heure nécessaire. Pour ce projet, il a été décidé de choisir une tension de 60V, qui correspond à la tension du moteur BLDC 60V, afin d'éviter l'utilisation d'un convertisseur Booster qui aurait été nécessaire si la tension choisie avait été différente.

$$E_{batt} = V_{OC} \times C_n \quad (3.28)$$

Implique :

$$C_n = \frac{E_{batt}}{V_{OC}} = 50Ah$$

Pour déterminer le nombre de cellules Lithium-ion nécessaires pour obtenir la tension et la capacité de charge souhaitées, des cellules de format cylindrique 18650 ont été choisies. Ce format est le plus couramment utilisé dans le monde pour les batteries Li-ion car il est normalisé

On utilise les piles lithium fabriqué par LG [51] :

TAB. 3.4 : la fiche technique de la pile lithium 18650 [51]

Tension (V)	3.7
Capacité (mAh)	3000
Masse (g)	48
Dimensions	18,2∅×5 (H) mm



FIG. 3.30 : Cellules lithium-ion 18650

Calcul de nombre de cellule pour les 60 v :

$$n = \frac{V_{OC}}{V_{cell}} \quad (3.29)$$

n : le nombre de cellule à connecter en série. V_{cell} : la tension nominale pour une cellule.

On trouve : $n = \frac{60}{3,7} = 17$ cellules

Calcul du nombre de cellules nécessaire pour avoir 50 Ah :

$$m = \frac{C_n}{C_{cell}} \quad (3.30)$$

m : Correspond au nombre de cellules à connecter en parallèle. C_{cell} : la capacité nominale

d'une cellule en Ah. On trouve : $n = \frac{50}{3} = 17$

Calcul du nombre total des cellules :

Le nombre total des cellules N_{cell} pour satisfaire les exigences de tensions et de capacité :

$$N = m \times n = 17 \times 17 = 289 \text{cellules} \quad (3.31)$$

Calcul de la masse de la batterie :

La masse de la batterie s'obtient comme suit :

$$M_{batt} = N_{cell} \times m_{cell} = 13,872 \text{kg} \quad (3.32)$$

Calcul du volume de la batterie :

Le volume de la batterie s'obtient :

$$V_{batt} = N_{cell} v_{cell} = N_{cell} \times \pi \times D_{cell}^2 \times H_{cell} = 4,780 \text{L} \quad (3.33)$$

D_{cell} : le diamètre de la cellule. H_{cell} : la hauteur de la cellule.

Calcul de la densité massique d'énergie :

La densité massique d'énergie ε_m représente le rapport entre la capacité énergétique de la

batterie et sa masse :

$$\varepsilon_m = \frac{E_{batt}}{M_{batt}} = 214,82Wh/kg \quad (3.34)$$

Calcul de la densité volumique d'énergie ε_v représente le rapport entre la capacité énergétique de la batterie et sa masse :

$$\varepsilon_v = \frac{E_{batt}}{V_{batt}} = 623,43Wh/L \quad (3.35)$$

L'état de charge de batterie en conduite

En utilisant les équations (3.19) et (3.25), le courant délivré ou est toujours absorbé par la batterie (selon le signe et la valeur de la puissance), et même Estimer l'état de charge de la batterie. L'introduction de ces équations dans le modèle donne Après simulation, la figure est la suivante.

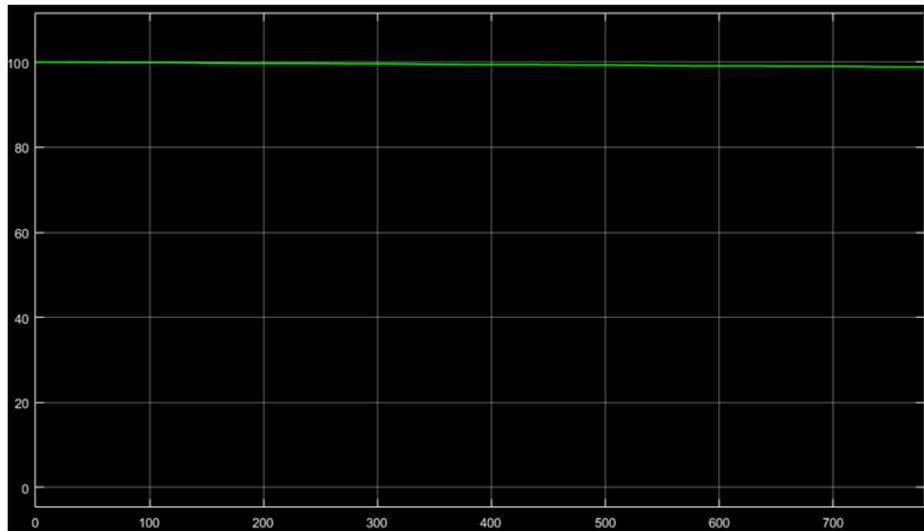


FIG. 3.31 : L'état de charge SOC (%) en fonction du temps (s).

4.7.3 Interprétation

D'après le graphique, on constate que la charge de la batterie diminue de sa valeur initiale de 100% jusqu'à une valeur d'environ 98,84%. Ce phénomène est logique car la batterie a été conçue pour une autonomie de 50 km alors que la distance parcourue durant les premières 780 secondes du cycle NEDC est de 4,067 km. En outre, le calcul de la consommation a montré que la voiture consomme 0,2362 kWh, soit environ 7,87% de la capacité énergétique de la batterie, ce qui explique la faible diminution de la charge pendant la conduite.

4.8 Batterie et Recharge utilisé pour le prototype

La tension requise pour le bon fonctionnement du moteur est d'environ 60 V. Afin d'assurer le bon fonctionnement du prototype, une batterie de 60 V avec une capacité de

20 Ah sera utilisée. Cette batterie a été sélectionnée pour fournir une autonomie de 20 km lors des essais.

La batterie est commandée auprès du fournisseur du moteur électrique de citycoco. Elle est équipée d'un connecteur de charge à domicile (AC) et d'un système de gestion de batterie (BMS).



FIG. 3.32 : La batterie et le chargeur utilisé pour le prototype. [45]

4.9 Conclusion

Dans cette partie, on a essayé de faire un bilan sur la consommation de la voiture en énergie électrique afin de donner une estimation sur l'énergie nécessaire pour alimenter la machine à courant continu, et les différents accessoires électriques qui existent en se basant sur les résultats du premier travail où on avait dimensionné la puissance mécanique de la machine, ensuite à la base du calcul de la consommation, on a procédé au dimensionnement de toutes les caractéristiques de la batterie (tension, capacité de charge, nombre de cellules...) ensuite on a entamé le suivi de l'état de charge. On a finit par une explication des dispositifs utilisés pour le prototype.

5 Calcul Thermique des Batteries

5.1 Introduction

Le chapitre traitant de la motorisation, de la transmission et de la batterie met en évidence l'impact de la température de fonctionnement sur les performances et la durée de vie des composants électriques, notamment les batteries Lithium-ion qui ont une plage de températures de fonctionnement allant de -20°C à 60°C . Il est donc essentiel de veiller à un contrôle approprié de la température. Dans ce contexte, le chapitre propose une étude analytique et une simulation sur Simulink pour évaluer la nécessité d'un système de refroidissement pour les batteries.

5.2 Calculs et Modélisation analytique des Batteries

L'application du premier principe de la thermodynamique permet d'établir le bilan énergétique d'un système, exprimé par une équation fondamentale :

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_{gen} - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{St} \quad (3.36)$$

\dot{E}_{in} : Désigne le taux de chaleur et/ou la puissance reçu par le système.

\dot{E}_{gen} : Désigne la chaleur et/ou la puissance générée par le système.

\dot{E}_{out} : Désigne le taux de chaleur et/ou la puissance cédé par le système.

\dot{E}_{St} : Désigne le taux d'accumulation ou de stockage d'énergie dans le système.

Pour la batterie, il est clair que \dot{E}_{in} est nul (la batterie ne reçoit aucune puissance du milieu externe), le terme \dot{E}_{gen} est essentiellement relié au transfert de chaleur qui se développe lors des réactions chimiques qui se déroulent à l'intérieur de la batterie donné par $-\frac{T_s \Delta S}{nF} I$, et aussi à la puissance électrique générée par la batterie déjà exprimée dans le chapitre précédent $V_{OC} I$. Ainsi, le taux de génération d'énergie s'exprime comme suit :

$$\dot{E}_{gen} = V_{OC} \cdot I - \frac{I \cdot T_s \cdot \Delta S}{n_{elec} \cdot F} \quad (3.37)$$

Avec :

V_{OC} : désigne la force électromotrice de la batterie en Volt [V]

T_s : désigne la température de la batterie en Kelvin [K]

ΔS : désigne la variation d'entropie qui accompagne les réactions chimiques au sein de la batterie, elle est reliée à l'état de charge SOC

F : la constante de Faraday. $F = 96500$ Coulomb

n_{elec} : le nombre des électrons échangés lors de chaque réaction de charge/décharge

I : désigne le courant qui passe par la batterie en Ampère [A]

Le terme \dot{E}_{out} englobe la puissance électrique cédée à la charge (machine à courant continu + accessoires) exprimée dans le chapitre précédent par $V_{Terminal} \cdot I$, et aussi le transfert de chaleur par convection qui se fait entre la batterie et le fluide qui s'écoule entre ses cellules pour assurer le refroidissement donné selon la loi de Newton par $hA\Delta T_{lm}$. Ainsi, \dot{E}_{out} s'exprime comme suit :

$$\dot{E}_{out} = V_{Terminal} \cdot I + hA\Delta T_{lm} \quad (3.38)$$

- $V_{Terminal}$: La tension réelle aux bornes de la batterie.
- h : Le coefficient de transfert thermique convectif entre le fluide de refroidissement et la batterie dépend principalement de la différence de température entre le fluide et la batterie, ainsi que du régime d'écoulement du fluide (laminaire ou turbulent). En effet, le régime d'écoulement influe sur la vitesse du fluide et donc sur sa capacité à dissiper la chaleur. Ainsi, le coefficient de transfert thermique convectif varie en fonction des températures du fluide et de la batterie, ainsi que du régime d'écoulement.
- A : Désigne l'aire de la surface totale d'échange convectif entre le fluide et la batterie qui est $A = N_{cell} \cdot (\pi D_{cell} H_{cell})$, avec H_{cell} qui représente la hauteur de la cellule.
- ΔT_{lm} : La différence de température logarithmique moyenne à travers les cellules de la batterie est définie par une formule spécifique.

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_0 - T_i}{\ln\left(\frac{T_0 - T_i}{T_i - T_s}\right)} \quad (3.39)$$

T_0 : désigne la température de sortie de l'écoulement d'air

T_i : désigne la température d'entrée de l'écoulement d'air $T_i = T_\infty$

E_{St} : le taux de variation de l'énergie interne de la batterie dans le temps, et s'exprime comme suit :

$$E_{St} = M_{batt} \cdot c_v \cdot (dT_s) / dt \quad (3.40)$$

- M_{batt} : désigne la masse de la batterie en [Kg]
- c_v : désigne la chaleur spécifique de la batterie en [J/kg. K]

A partir de tout ce développement, et en injectant toutes les équations qui permet de définir tous les termes qui figurent dans l'équation (3.36) on obtient :

$$M_{batt} \cdot c_v \cdot \frac{dT_s}{dt} = V_{OC} \cdot I - T_s \cdot \frac{\Delta S}{n_{elec} \cdot F} \cdot I - V_{Terminal} \cdot I - hA\Delta T_{lm} \quad (3.41)$$

Dans la partie précédente, la tension aux bornes de la batterie a été exprimée en utilisant la loi d'Ohm. Cette loi établit une relation linéaire entre la tension électrique, le courant électrique et la résistance électrique, exprimée mathématiquement de la manière suivante :

$$V_{Terminal} = V_{OC} - I \cdot R_{internal} \quad (3.42)$$

En utilisant l'équation (3.42) pour remplacer la tension dans l'équation (3.41), nous obtenons une équation différentielle qui décrit l'évolution de la température de la batterie au cours de la conduite

$$M_{batt} \cdot c_v \cdot \frac{dT_s}{dt} = I^2 \cdot R_{internal} - T_s \cdot \frac{\Delta S}{n_{elec} \cdot F} \cdot I - hA\Delta T_{lm} \quad (3.43)$$

Nous avons pris inspiration de l'ouvrage "Fundamentals of Heat and Mass Transfer" pour étudier un exemple de système de gestion thermique pour batteries utilisant l'air atmosphérique comme fluide de refroidissement. Ce système est utilisé pour refroidir la batterie d'un véhicule hybride composé de cellules cylindriques Ni-MH de format 18650, comme illustré dans la figure ci-dessous :

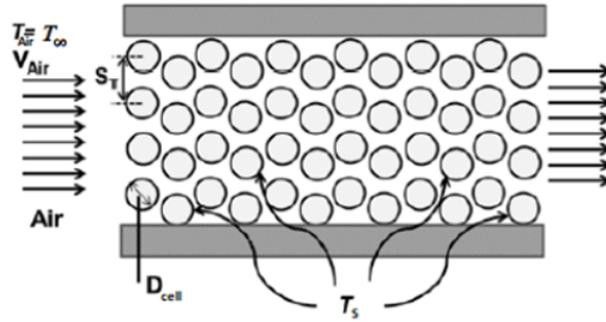


FIG. 3.33 : Système de gestion thermique à air utilisé pour refroidir des cellules de type 18650 de la batterie d'un véhicule électrique. [53]

Il convient de souligner qu'il existe deux façons de positionner les cellules par rapport à l'écoulement de l'air : la configuration alignée (« aligned configuration ») et la configuration en quinconce (« staggered configuration »). Les deux configurations sont représentées dans la figure ci-dessous [53] :

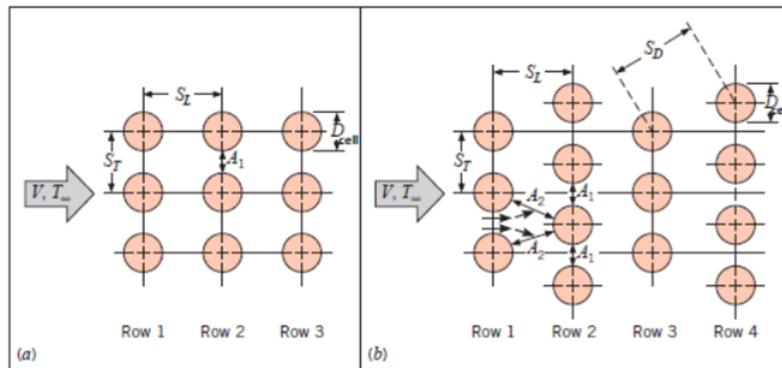


FIG. 3.34 : Les deux types d'arrangement des cellules (a) alignée, (b) en quinconce. [53]

Lorsque les cellules sont disposées en rangées, le coefficient d'échange convectif h peut être considéré comme approximativement égal à celui d'un seul cylindre pour la première rangée, car l'écoulement de l'air autour des cellules est similaire à celui autour d'un cylindre isolé. Pour les rangées suivantes, l'écoulement dépend de la façon dont les cellules sont arrangées. Les cellules alignées en aval résident dans le sillage des cellules en amont, ce qui peut améliorer le coefficient d'échange convectif associé aux rangées en aval, notamment pour des valeurs modérées de S_L . Le coefficient d'échange convectif pour une rangée augmente jusqu'à la cinquième rangée, après quoi il y aura moins de variation dans les conditions d'écoulement et le coefficient de convection se stabilisera. Cependant, pour des valeurs plus larges de S_L , l'influence des rangées en aval diminue, et la configuration alignée ne doit pas être utilisée si le rapport S_T/S_L est inférieur à 0,7.

En revanche, la disposition en quinconce crée un chemin d'écoulement plus tortueux pour le fluide, favorisant ainsi le mélange et améliorant le transfert de chaleur par rapport à la configuration alignée. [53]

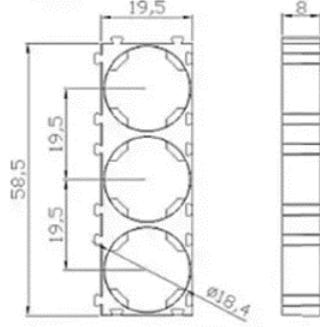


FIG. 3.35 : Support de piles lithium-ion pour batterie de moto. [54]

Dans notre cas, nous avons $S_T/S_L = 1$, ce qui signifie que nous pouvons utiliser l'arrangement aligné et cela ne posera pas de problèmes de transfert de chaleur entre les cellules.

Le coefficient d'échange convectif est déterminé à partir du nombre de Reynolds $Re_{D,\text{cell}}$, qui est calculé en utilisant le diamètre de la cellule D_{cell} et la vitesse maximale d'écoulement V_{max} . La définition du nombre de Reynolds est la suivante :

$$Re_{D,\text{max}} = \frac{V_{\text{max}} \cdot D_{\text{cell}}}{\nu} \quad (3.44)$$

- ν : désigne la viscosité cinématique du fluide en $[\text{m}^2/\text{s}]$

V_{max} se calcule par :

$$V_{\text{max}} = \frac{v \cdot S_T}{S_T - D_{\text{cell}}} \quad (3.45)$$

sous la condition que $S_D > \frac{S_T + D_{\text{cell}}}{2}$.

$$V_{\text{max}} = \frac{v \cdot S_T}{2(S_D - D_{\text{cell}})} \quad (3.46)$$

sous la condition que $S_D < \frac{S_T + D_{\text{cell}}}{2}$.

La corrélation suivante est utilisée pour calculer la grandeur adimensionnelle moyenne pour l'ensemble des cellules, qui est liée au coefficient d'échange convectif h . Cette grandeur adimensionnelle est appelée nombre de Nusselt (Nu_D) :

$$Nu_D = C_1 \cdot Re_{D,\text{max}}^m \cdot \left(\frac{Pr^{0.25}}{Pr_s^{0.25}} \right) \quad (3.47)$$

sous les conditions $N_L \leq 20$, $0.7 \leq Pr \leq 500$, et $10 \leq Re_{D,\text{max}} \leq 2 \times 10^6$.

Les constantes C_1 et m dans la corrélation du nombre de Nusselt Nu_D dépendent du régime d'écoulement et sont déterminées à partir des valeurs du nombre de Reynolds Re_D . Ces constantes ont été tabulées pour différents régimes d'écoulement, comme illustré dans les tableaux de référence pour les nombres de Reynolds.

Configuratio	$Re_{D,max}$	C_1	m
Aligned	$10-10^2$	0.80	0.40
Staggered	$10-10^2$	0.90	0.40
Aligned	10^2-10^3	Approximate as a single (isolated) cylinder	
Staggered	10^2-10^3		
Aligned ($S_T/S_L > 0.7$) ^a	$10^3-2 \times 10^5$	0.27	0.63
Staggered ($S_T/S_L < 2$)	$10^3-2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1.5}$	0.60
Staggered ($S_T/S_L > 2$)	$10^3-2 \times 10^5$	0.40	0.60
Aligned	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0.021	0.84
Staggered	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0.022	0.84

^aFor $S_T/S_L < 0.7$, heat transfer is inefficient and aligned tubes should not be used.

FIG. 3.36 : Constantes de Calcul de nombre de Nusselt. [53]

Le nombre de Nusselt local Nu_D dépend également du nombre de rangées perpendiculaires à la direction de l'écoulement représenté par N_L , ainsi que du nombre de Prandtl Pr qui est une fonction de la température du fluide.

En utilisant la définition de Nu_D , on peut déduire le coefficient d'échange h :

$$h = \frac{k \cdot Nu_D}{D_{cell}} \quad (3.48)$$

La variable k représente la conductivité thermique du fluide en unités de watts par mètre-kelvin [W/m.K]. Cette conductivité thermique est une fonction de la température du fluide.

Toutes les grandeurs, sauf Pr , sont calculées à la température de film T_f qui correspond à la moyenne arithmétique entre la température de surface T_s et la température ambiante T_∞ .

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (3.49)$$

On peut estimer la température de sortie T_o de l'écoulement d'air après le passage de la dernière rangée en utilisant l'équation suivante :

$$T_o = T_s + (T_\infty - T_s) \exp\left(\frac{-\pi D_{cell} N_L h}{\rho_{air} v S_T C_{pair}}\right) \quad (3.50)$$

5.3 Simulation sur Simulink

Les équations issues de l'analyse ont été incorporées dans un modèle SIMULINK que nous avons développé. Nous avons ensuite effectué des simulations en utilisant les données que nous avons identifiées précédemment pour dimensionner la batterie destinée à alimenter un moteur de 1,5 kW utilisé pour notre prototype. Toutes les informations relatives à cette simulation sont présentées dans le tableau ci-dessous :

TAB. 3.5 : Les paramètres de modélisation et de calcul de température des batteries lithium.

Puissance du moteur	1.5 kW
Capacité énergétique de la batterie	3 kWh
Tension de la batterie	60 V
Capacité de charge	50 Ah
Type de cellule	Lithium-ion 18650 (3.7 V, 3 Ah)
Masse d'une cellule	0.050 kg
Masse de la batterie	13.872 kg
Chaleur spécifique des batteries LFP	1350 J/kg.K
Température initiale	35°C

Pour les batteries Li-ion, la relation qui relie la variation d'entropie ΔS avec l'état de charge SOC est tirée de :

$$\Delta S = -1.79 \times 10^{-2}(\text{SOC})^2 + 2.7429(\text{SOC}) - 116 \quad (3.51)$$

Etude de l'évolution de la température en l'absence du refroidissement :

Tout d'abord, nous avons entrepris de mesurer l'impact du roulage de la moto sur la température de la batterie, sans utiliser de système de refroidissement. Nous avons voulu évaluer l'ampleur de l'augmentation de température dans un scénario défavorable, en partant d'une température initiale de 35°C. Pour ce faire, nous avons modifié l'équation (3.43) en remplaçant le coefficient par zéro, ce qui correspond à l'absence de système de refroidissement. Nous avons ensuite effectué une simulation, dont les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous.

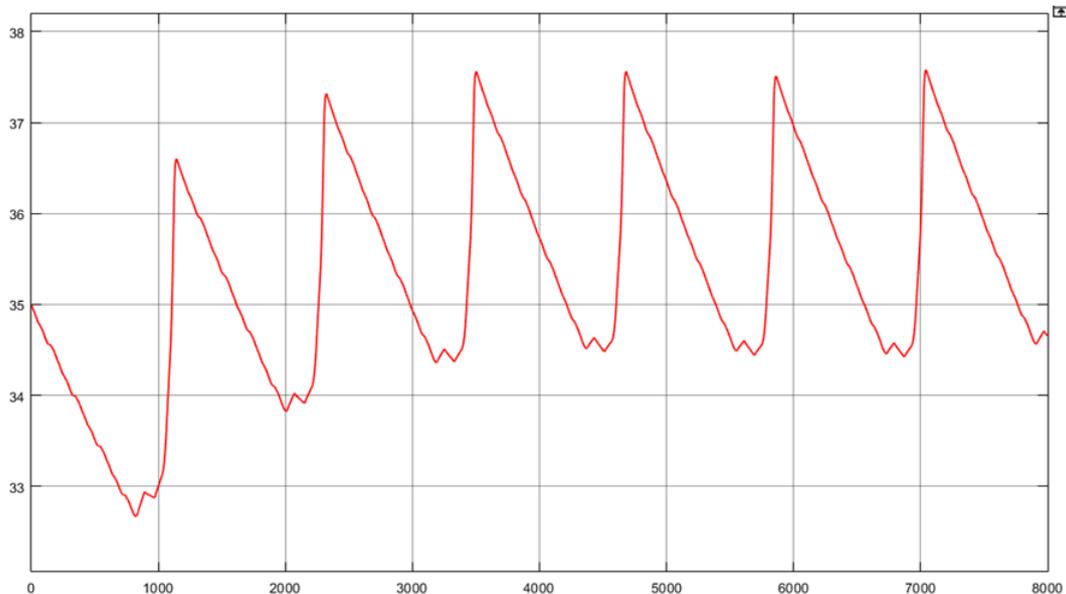


FIG. 3.37 : La température des batteries lithium (°C) en fonction du temps (s).

5.4 Interprétation

D'après les résultats présentés sur la Figure 3.37, la température de la batterie a augmenté de $2,5^{\circ}\text{C}$ pendant une période de 8000 secondes, passant d'une température initiale de 35°C à une température maximale de $37,5^{\circ}\text{C}$. Bien que la batterie n'ait pas été refroidie pendant la simulation, la température finale reste bien en deçà de la limite supérieure de la plage de fonctionnement optimale des batteries Li-ion, qui est de 60°C . Ceci s'explique par le fait que, dans la phase urbaine du cycle de conduite, les forces de résistance auxquelles la moto est soumise ne sont pas suffisamment importantes pour provoquer une augmentation de la température de la batterie au-delà de cette limite. En effet, les vitesses atteintes dans cette phase sont relativement faibles, comprises entre 0 et 50 km/h. De plus, la batterie utilisée pour le prototype est protégée par un boîtier en métal avec des matériaux isolants et étanches, et est placée sur le châssis de manière à être exposée au vent. Cela permet un refroidissement naturel de la batterie par le flux d'air en circulation.

5.5 Conclusion

On a commencé par une étude théorique approfondie portant sur le calcul thermique des batteries et le système de gestion de l'air. Cette phase initiale nous a permis de comprendre les principaux paramètres influençant les températures des batteries, ainsi que l'importance potentielle d'un système de gestion thermique. Ensuite, nous avons procédé à la réalisation d'une simulation sur SIMULINK afin de tester les températures de la batterie dans des conditions de fonctionnement variées. L'objectif était de déterminer si ces températures atteignaient des niveaux critiques nécessitant la mise en place d'un système de gestion thermique approprié.

6 Roues

Introduction :

Une roue est un composant mécanique de forme circulaire qui tourne autour d'un axe passant par son centre. Elle se présente sous différentes formes en fonction des applications spécifiques.

6.1 Composition des roues d'une moto

Une roue de moto peut se décomposer en quatre parties distinctes :

1. la jante (La roue elle-même).
2. Le moyeu, par lequel passe l'axe de roue.
3. Les éléments d'assemblage.
4. Le pneu. [56]

6.1.1 La Jante

La roue joue un rôle crucial en supportant le pneu, et au fil des années, son évolution technologique a été significative. Autrefois fabriquée en bois, elle est maintenant conçue

dans une variété de matériaux pour répondre à des exigences spécifiques :

L'acier est fréquemment utilisé pour sa résistance et sa durabilité.

Les alliages légers tels que l'aluminium ou le magnésium offrent un compromis entre légèreté et solidité.

Les matériaux plastiques sont couramment utilisés dans les jantes des cyclomoteurs.

Les fibres composites comme le carbone ou le kevlar sont employés dans les compétitions pour obtenir des jantes légères et rigides. [56]

6.1.2 Le Moyeu

Le moyeu désigne la composante centrale d'un dispositif rotatif de forme discoïdale, telle qu'une roue, une poulie, un engrenage ou un volant. Il remplit deux fonctions principales : transmettre les efforts moteurs et servir de support pour l'élément auquel il est associé. [56]

6.1.3 Eléments d'assemblage

Dans le cadre de l'assemblage des composants, plusieurs éléments jouent un rôle crucial :

1. La jante doit présenter un bord impeccable afin d'assurer une adhérence optimale du pneu sur toute sa surface.
2. Les surfaces de fixation des disques doivent être parfaitement planes. Cette caractéristique est essentielle pour prévenir toute déformation (voilage) du disque lors des phases de freinage. [56]

6.1.4 LE PNEU

Le pneu est un composite, c'est-à-dire un assemblage solidaire de matériaux aux propriétés très diverses dont la confection requiert une grande précision. [56]

6.2 Choix de Type de Roue

Le Choix de Type de Roue dépend du moteur BLDC montée sur La roue Arrière. Le moteur utilisé est monté sur city coco

La roue arrière de citycoco :



FIG. 3.38 : Roue arrière de la moto (citycoco) [57].

TAB. 3.6 : Fiche technique de la roue arrière (city coco)

Désignation	Dimensions
Pneu	225x55-8
Jante	18x9.50-8

6.3 Conclusion

Cette partie est consacrée à l'analyse approfondie des différents composants constituant une roue, mettant en évidence leur rôle et composants. En ce qui concerne les dimensions des roues utilisées pour le prototype, une recherche approfondie a été menée pour identifier les options disponibles sur le marché algérien. Des critères tels que la taille, le diamètre, la largeur et la compatibilité avec d'autres éléments de la moto ont été pris en compte lors de la sélection des dimensions spécifiques.

7 Suspension

Introduction :

Les suspensions d'un véhicule sont des composants qui assurent la liaison entre les parties non supportées par les suspensions (comme les roues, les éléments de transmission, et souvent les systèmes de freinage) et les parties supportées par les suspensions (comme le châssis, le moteur et tous les autres composants fixés au châssis). [58]

7.1 Fonctionnement de suspension

Le rôle essentiel du système de suspension est de protéger à la fois le conducteur et la machine des impacts de la route. Cela permet d'assurer le confort du conducteur et la durabilité mécanique de manière optimale. Pour y parvenir, il est crucial de maintenir un contact étroit entre les roues et le sol, afin d'obtenir un contrôle et une adhérence maximale sur la route. [38]

7.2 Conception de Suspension

La conception des suspensions pour les motos présente un défi considérable en raison des exigences contradictoires imposées par la configuration du véhicule et la nécessité de s'incliner dans les virages. La faible hauteur du centre de gravité par rapport à l'empattement entraîne une transmission importante de charges longitudinales lors des freinages et des accélérations. Lors d'un freinage, la suspension avant peut être soumise à 100% du poids de la moto, ce qui multiplie presque par trois la charge statique supportée par la suspension, en plus des forces de freinage. Malgré cela, elle doit également conserver sa capacité à absorber les chocs de la route. De même, lors de l'accélération sur une moto de course moderne, il est possible que toute la charge soit transférée vers l'arrière. Lors de la conduite en virage, les deux extrémités de la moto peuvent être chargées d'environ 50% supplémentaires en raison des capacités de virage des pneus modernes. Les motos

tout-terrain doivent également supporter les charges supplémentaires lors des atterrissages après des sauts de grande hauteur, tout en maintenant une plage de mouvement d'environ 300 mm. [38]

Les performances de la suspension sont influencées par quatre paramètres clés : les ressorts, l'amortissement, les masses suspendues et non suspendues, ainsi que les caractéristiques des pneus. [38]

7.2.1 Les ressorts

Le paramètre clé d'un ressort est son taux, qui représente sa rigidité et est mesuré en N/mm (ou kN/m). Le taux indique la force supplémentaire nécessaire pour comprimer ou étendre le ressort d'une quantité spécifique. Certains ressorts sont linéaires, avec un taux constant sur toute leur plage de mouvement, tandis que d'autres sont progressifs, avec un taux qui varie selon la charge. Dans le domaine des motocycles, les ressorts progressifs ont généralement un taux croissant avec la charge ajoutée. Il est important de distinguer le taux, qui mesure la force supplémentaire nécessaire pour comprimer le ressort, de la charge, qui représente la force totale supportée par le ressort. Les ressorts peuvent être fabriqués à partir de différents matériaux et prendre différentes formes, mais il existe une plage de choix pratique pour les applications motocyclistes. [38]

7.2.2 L'amortissement

Un amortisseur est un dispositif conçu pour absorber l'énergie. Lorsque l'amortisseur se déplace, il crée une résistance mécanique. Contrairement à un ressort, il n'a pas de tendance naturelle à revenir à sa position initiale, ce qui signifie qu'il utilise de l'énergie qui est dissipée sous forme de chaleur. Cette perte d'énergie est essentielle pour éviter des oscillations incontrôlées dans la suspension. Prenons l'exemple d'une bosse qui comprime complètement un amortisseur de suspension. À ce moment-là, de l'énergie est stockée dans le ressort sous forme d'énergie potentielle. Lorsque le ressort revient à sa longueur statique, il restitue cette énergie. Sans amortissement, toute l'énergie cinétique serait transférée à la masse de la moto, provoquant une extension excessive de la suspension. Cela créerait un rebond continu sur la route. L'introduction d'un amortissement permet d'absorber une partie ou la totalité de l'énergie transmise à la suspension par une bosse, réduisant ainsi les oscillations en fonction du degré d'amortissement. [38]

Un amortisseur hydraulique de base se compose d'un piston qui se déplace dans un cylindre rempli d'huile. Des orifices peuvent être présents dans le piston pour permettre à l'huile de circuler d'un côté du piston à l'autre. Une unité hydraulique normale présente deux types d'amortissement. [38]

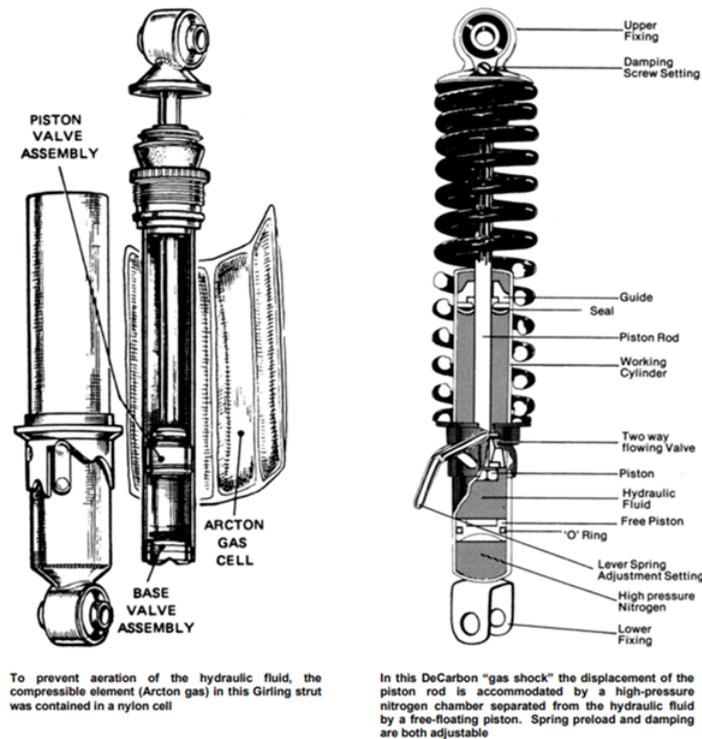


FIG. 3.39 : Les composants des amortisseurs à l'huile. [38]

7.3 Choix de Type D'amortisseur pour le prototype

Le choix d'amortisseur pour le prototype se fait en fonction de la longueur requise et la fixation avec la roue avant. D'ailleurs Après consultations et essais sur la roue on a utilisé un amortisseur à l'huile de VMS Alpha en raison des fixations.

Ensuite on a fait le calcul de suspension pour savoir si cet amortisseur peut supporter les charges appliquées

7.4 Dimensionnement et calcul de suspension

7.4.1 Les fréquences de suspension

Les êtres humains ont une tolérance variable aux différentes fréquences de perturbations, et cette tolérance dépend également de la direction du mouvement. Par exemple, nous sommes plus à l'aise avec des mouvements verticaux se situant dans une plage d'environ 1 à 1,5 cycles par seconde (c/s ou Hz), mais cette même fréquence peut être très désagréable lorsqu'elle est appliquée à notre corps dans une direction horizontale. Les mouvements verticaux sont principalement causés par les chocs de la route, tandis que les mouvements horizontaux sont dus aux mouvements de tangage du véhicule. Si le conducteur ne maintient pas une position verticale, par exemple lorsqu'il se penche en position de course, il y aura une interaction entre ces mouvements, ce qui affectera le confort du conducteur. Le tableau suivant donne un aperçu général de la perception humaine des différentes fréquences de mouvement vertical et de leur impact sur la suspension du véhi-

cule. [38]

TAB. 3.7 : le comportement de la structure en fonction des fréquences en Hz. [38]

Fréquences (Hz)	Les conséquences
0.5 à 1.0	Tend à favoriser le mal des transports
1 à 2	Généralement considéré comme le plus confortable
> 2.0	La conduite est généralement perçue comme étant dure ou rude
5 à 20	Ces fréquences ont divers effets inconfortables et parfois nuisibles sur différentes parties du corps

7.4.2 Calcul du coefficient d'amortissement

On a une masse totale suspendue de 200 Kg correspondant à la masse de la moto, la batterie, le motard avec son bagage à main. Le système utilisé en suspension est un système de Masse amortisseur sans ressort. On effectue une modélisation d'un système masse ressort en utilisant un profil de route selon la norme ISO 8608 Le profil de route

$$y(t) = h \cdot \sin\left(\frac{2\pi vt}{P}\right) = h \cdot \sin(\omega t) \quad (3.52)$$

Tel que :

$$\begin{aligned} v &: \text{la vitesse maximale (m/s),} \\ v &= 50 \text{ km/h} = 13.88 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

- t : le temps en seconde (s).
- Amplitude h : de 5 mm à 25 mm.
- Période P : de 2 m à 50 m.

pour notre cas on prend :

$$y(t) = 0.025 \cdot \sin(43.60t) \quad (3.53)$$

L'équation du modèle :

$$Mx'' + cx' = cy' \quad (3.54)$$

- M est la masse totale,
- C est le coefficient d'amortissement.

Les conditions initiales :

- $x(0) = 0$: le repère est la moto après l'assise du motard,
- $x'(0) = 0$: la vitesse verticale du châssis après l'assise du motard,
- $x_{\max} = 0.25 \text{ m}$: la course maximale de l'amortisseur après l'obstacle.

Pour résoudre le problème on a :

- $x = e^{rt}$: le déplacement vertical de la structure,
- $x' = re^{rt}$: la vitesse verticale de la structure,
- $x'' = r^2e^{rt}$: l'accélération verticale de la structure.

On calcule la solution homogène :

L'équation caractéristique du Modèle :

$$Mr^2 + cr = 0 \quad (3.55)$$

Implique

- $r_1 = 0$
- $r_2 = -\frac{c}{M}$

Donc la solution homogène est la suivante :

$$x_h(t) = a_2 + a_1e^{-\frac{ct}{M}} \quad (3.56)$$

-La solution Particulière :

$$x_p(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) \quad (3.57)$$

$$x_p'(t) = A\omega \cos(\omega t) - B\omega \sin(\omega t)$$

(3.58)

$$x_p''(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t) - B\omega^2 \cos(\omega t) \quad (3.59)$$

On remplace dans l'équation différentiel (3.54) les expressions (3.57),(3.58),(3.59) On trouve :

$$(-AM\omega^2 - B\omega c) \sin^2(\omega t) + (-BM\omega^2 + A\omega c) \cos^2(\omega t) = ch\omega \cos^2(\omega t) \quad (3.60)$$

Par identification on a :

$$-AM\omega^2 - B\omega c = 0 \quad (3.61)$$

$$A\omega c - BM\omega^2 = ch\omega \quad (3.62)$$

A partir des équation (3.61) et (3.62) on a :

$$B = -\frac{AM\omega}{c} \quad (3.63)$$

Tel que :

$$\frac{+M\omega}{c} = \lambda \quad (3.64)$$

ET

$$A = \frac{ch}{c + M\omega\lambda} \quad (3.65)$$

$$B = -\frac{\lambda}{(1 + \lambda^2)h} \quad (3.66)$$

Finalement :

$$x(t) = a_1 e^{-\frac{ct}{M}} + a_2 + \frac{h}{1 + \lambda^2} \sin(\sin(\omega t)) \quad (3.67)$$

Cette équation peut être écrite de cette manière :

$$x(t) = a_1 e^{-\frac{ct}{M}} + a_2 + \frac{h\sqrt{1 + \lambda^2}}{1 + \lambda^2} \sin^2(\omega t + \phi) \quad (3.68)$$

ϕ représente le déphasage. On remplace les conditions initiales et ceci implique :

$$a_1 = \frac{h\lambda}{1 + \lambda^2} \quad (3.69)$$

$$a_2 = 0 \quad (3.70)$$

On remplace avec cette condition ; $x_{\max} = 0.25$ m qui représente la course maximale de l'amortisseur On aura :

$$\sqrt{1 + \lambda^2} = 10(1 + \lambda^2) - \lambda \quad (3.71)$$

Après développement l'équation deviendra :

$$100\lambda^4 - 200\lambda^3 + 200\lambda^2 - 200\lambda + 99 = 0 \quad (3.72)$$

La résolution de cette équation se fait sur MATLAB on aura :

$$\lambda_1 = 0.0025 + i \quad (3.73)$$

$$\lambda_2 = 0.0025 - i \quad (3.74)$$

$$\lambda_3 = 1.0683 \quad (3.75)$$

$$\lambda_4 = 0.9267 \quad (3.76)$$

Par obligation :

- $\lambda > 0$: la valeur de lambda doit être supérieure à zéro,
- $M = 200$ kg : la masse M est de 200 kg,
- $w = 43.60$: la valeur de w est de 43.60,
- $c > 0$: la valeur de c doit être supérieure à zéro.

on remplace les résultats trouvés sur MATLAB, on aura :

$$c_1 = \frac{Mw}{\lambda} = \frac{200 \times 43.60}{1.0683} = 8162.5 \text{ Ns/m} \quad (3.77)$$

$$c_2 = \frac{Mw}{\lambda} = \frac{200 \times 43.60}{0.9267} = 9409.7 \text{ Ns/m} \quad (3.78)$$

7.4.3 Interprétation

La valeur minimale du c qui correspond au déplacement maximale (la course de l'amortisseur) : $c=8162.5$ Ns/m.

Ces résultats seront vérifiés par des simulation sur ansys Workbench.

La fréquence fondamentale qui correspond à la résonance ou il y a risque de rupture d'amortisseur correspond au 169.48 Hz. La fréquence de fondamentale du châssis correspond à 143.26 Hz et ses fréquences sont supérieur aux fréquences de shock et à la fréquence utilisée au profil de route lors de la modélisation.

Pour une simulation Harmonique sur Ansys Workbench avec une fréquence de 170 Hz et on introduit le $c=8162.5$ Ns/m on aura comme déplacement maximale $x=250$ mm ce qui correspond à la course de l'amortisseur.

Pour notre prototype on prend la valeur moyenne entre les deux coefficients d'amortissements $c=8\ 786,1$ Ns/m

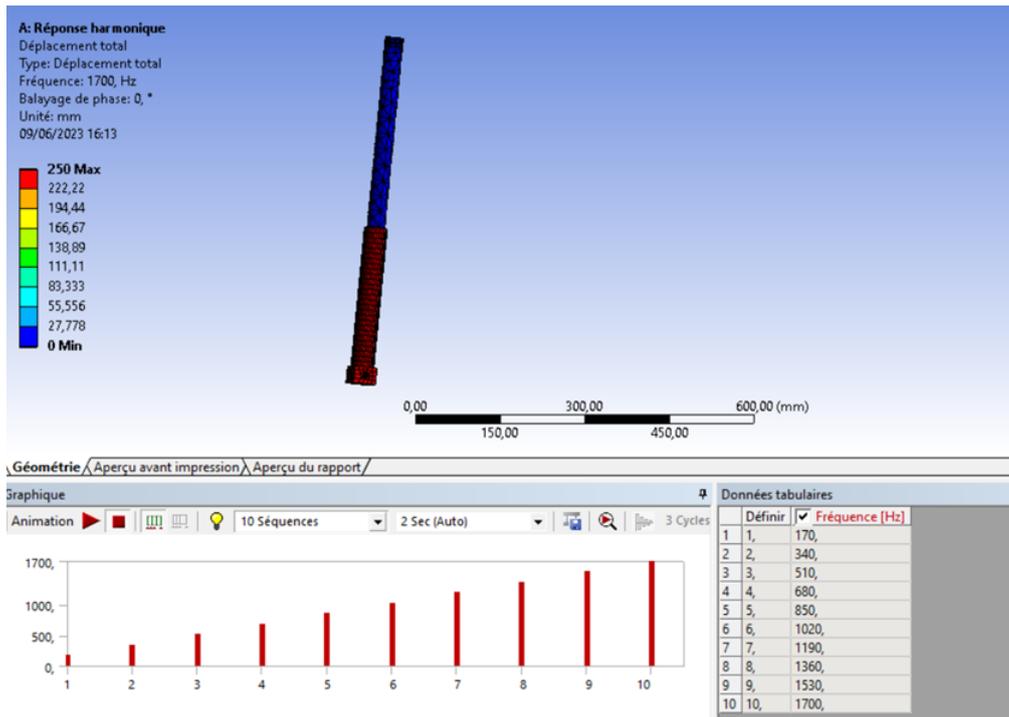


FIG. 3.40 : déplacements de l'amortisseur en Simulation Harmonique.

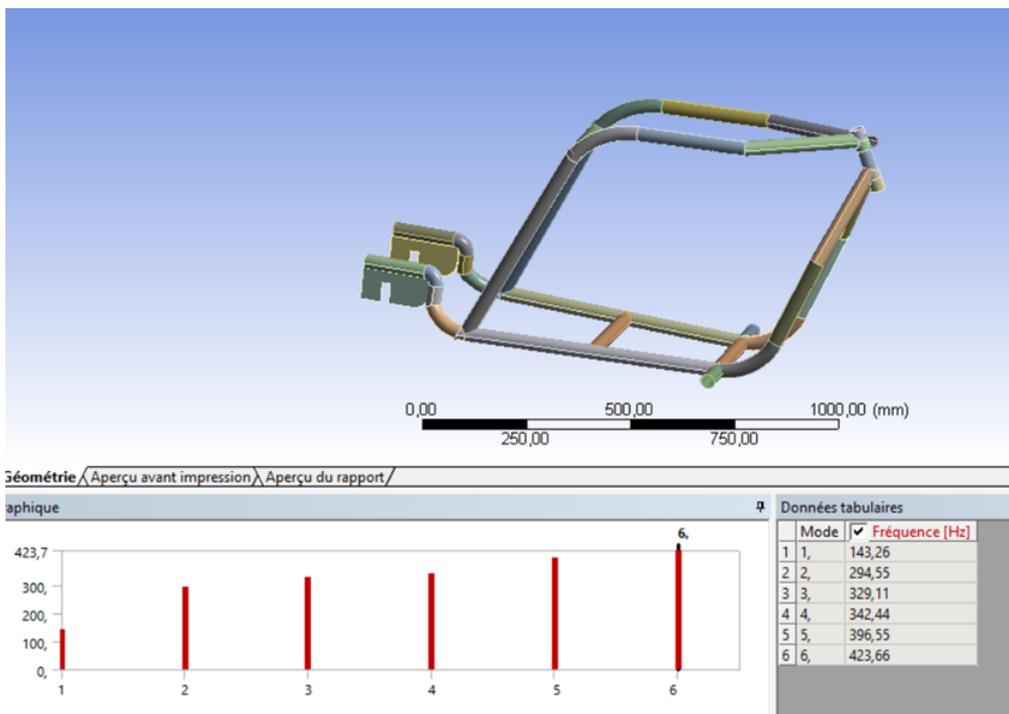


FIG. 3.41 : Simulation Modale du châssis de la moto.

7.5 Conclusion

Dans cette section, nous avons abordé la suspension et son fonctionnement, ainsi que les principes de conception qui y sont associés. Nous avons également examiné les différents composants de la suspension, tels que les ressorts et les amortisseurs, en détaillant

leurs caractéristiques et leurs types. Ensuite, nous nous sommes concentrés sur l'amortissement, en définissant clairement ce qu'est un amortisseur, ses composants internes et les différentes variations possibles. Nous avons ensuite discuté des calculs et du dimensionnement des amortisseurs, en utilisant des concepts issus de la dynamique des structures et des vibrations. Enfin, nous avons mentionné la validation des résultats à l'aide d'outils tels qu'Ansys Workbench pour confirmer les performances des amortisseurs.

8 Freinage

Introduction : Le système de freinage d'une moto remplit plusieurs fonctions cruciales, notamment la réduction de la vitesse, l'arrêt complet du véhicule et le maintien de la moto à l'arrêt.

Son objectif principal est de contrer ou d'annuler le travail généré par le moteur en convertissant l'énergie cinétique du véhicule en chaleur lorsqu'il est activé. [59]

8.1 Types de Frein

Il existe deux types de freins : le frein à tambour et le frein à disque.

Il existe différents systèmes de commande pour actionner les freins. On retrouve notamment les systèmes de tringlerie, appelés commandes par câble, ainsi que les systèmes de commande hydraulique qui utilisent la pression d'un liquide. Dans le monde des motos, à l'exception des freins à tambour, la commande hydraulique est la plus couramment utilisée. Ce système fonctionne selon un circuit fermé, où le volume de liquide de frein contenu dans le circuit reste constant. Cependant, certains se demandent pourquoi leur niveau de liquide de frein diminue.

La pression du liquide de frein est régulée par le maître-cylindre, qui contient le liquide et permet de multiplier la force exercée sur le levier ou la pédale de frein...

Cette pression est ensuite transmise vers la roue par le biais des durites. Dans le cas des freins à disque, elle actionne un ou plusieurs pistons à l'intérieur de l'étrier pour comprimer les plaquettes contre le disque. Dans le cas des freins à tambour, elle met en mouvement les mâchoires à l'intérieur du tambour. [59]

8.2 Choix de Type de Freins Pour le Prototype

Le choix du système de freinage adopté pour la moto est un système de freinage à disque à l'avant et à l'arrière. Ce système a été préféré en raison de son efficacité par rapport au système de freinage à tambour. [60]

Le système de freinage à disque offre plusieurs avantages en termes de performance et de fiabilité. Les freins à disque permettent une meilleure dissipation de la chaleur générée lors du freinage, ce qui réduit le risque de surchauffe et de perte d'efficacité des freins. De plus, ils offrent une meilleure modulation et une réponse plus immédiate, ce qui permet un contrôle plus précis du véhicule lors du freinage. [60]

Dans notre Prototype on a utilisé des étriers freins à Disque Monté sur VMS Cuxi, et le disque de frein est monté sur les roues avant et arrière de city coco.

On a choisi les étriers de VMS Cuxi a cause de la faisabilité au montage en avant car il sera

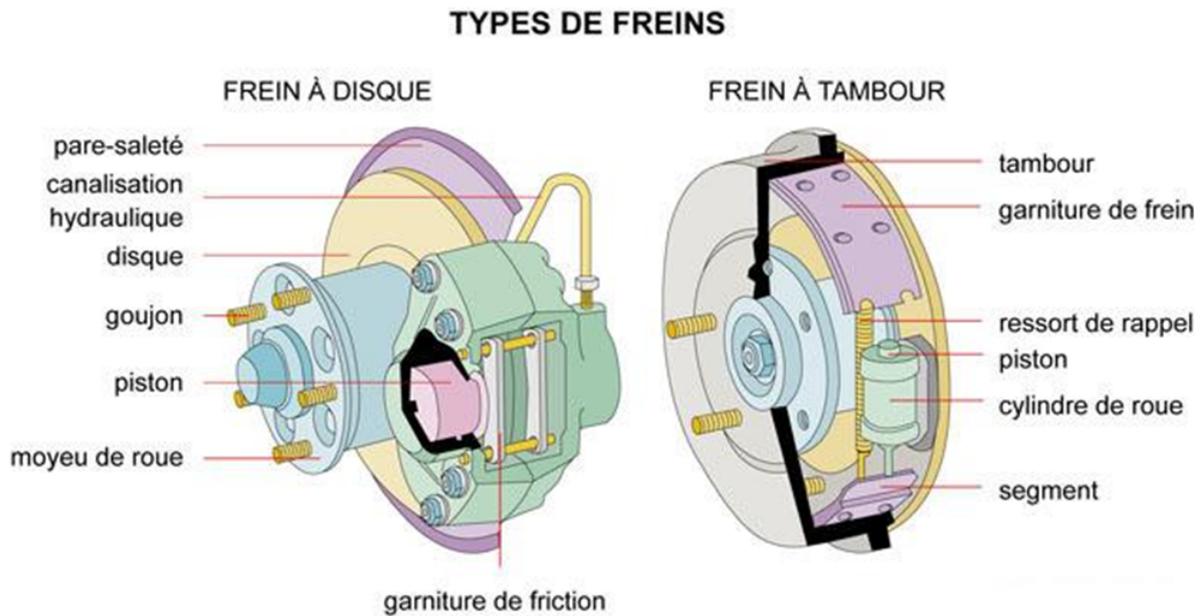


FIG. 3.42 : Types de freins. [59]

fixé aux amortisseurs avant, mais pour les étriers arrières on fera une plaque d'adaptation en acier pour les fixer.

8.3 Calcul de freinage

Pour le calcul du couple de freinage, on procède à partir d'un disque de frein de Cicycoco et d'une plaquette de frein de VMS Cuxi. Soit un patin (plaquette) de friction en contact avec le disque par une surface plane S de forme quelconque, et appliqué sur le disque par l'effort \vec{N} .

Soit R_1 le rayon intérieur du disque, R_2 son rayon extérieur et α l'angle définissant le secteur du disque correspondant au patin utilisé.

Considérons une surface élémentaire du patin ds entourant un point P situé à une distance r de l'axe de rotation O .

$$ds = r dr d\beta \quad (3.79)$$

Soit :

- μ : le coefficient de friction de la garniture.
- p : la pression spécifique sur la surface élémentaire considérée comme uniforme.

La valeur maximale de la pression spécifique moyenne (N /S) doit être comprise entre 55 et 65 bar pour un véhicule de tourisme, cette valeur pouvant aller jusqu'à 100 bar pour les poids lourds.[60]

L'élément de garniture ds est soumis à l'effort tangentiel :

$$dT = \mu pr dr d\beta \quad (3.80)$$

Le couple :

$$dC = r dT = \mu pr^2 dr d\beta \quad (3.81)$$

Soit R_1 le rayon intérieur du disque, R_2 son rayon extérieur et α l'angle définissant le secteur du disque correspondant au patin utilisé.

Le couple C_1 appliqué sur le patin est donné par :

$$C_1 = \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} \mu pr^2 d\beta dr \quad (3.82)$$

L'effort tangentiel \vec{T} agissant sur le patin se décompose sur les axes x et y en :

$$T_x = \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} \mu pr \sin \beta dr d\beta = \left[\int_{R_1}^{R_2} \mu pr dr \right] [\cos \beta]_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} = 0 \quad (3.83)$$

$$T_y = \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} \mu pr \cos \beta dr d\beta = 2 \left[\int_{R_1}^{R_2} \mu pr \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) dr \right] \quad (3.84)$$

$$R_a = \frac{C_1}{T_y} \quad (3.85)$$

R_a : rayon d'action de frein

Le couple total C sur le disque est :

$$C = 2C_1 = 2\mu N \cdot R_a \quad (3.86)$$

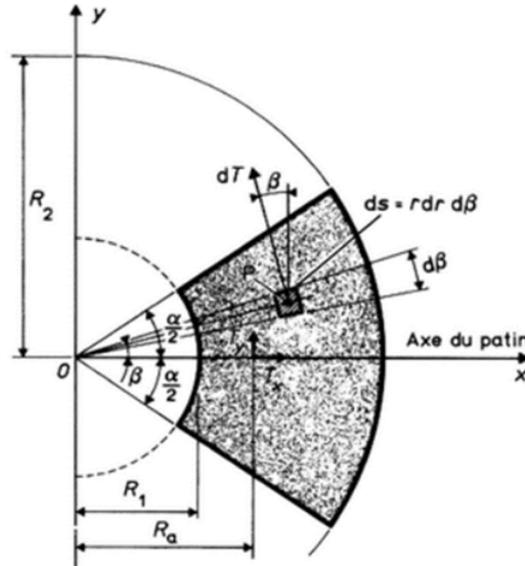


FIG. 3.43 : Calcul de freinage. [60]

8.4 Résultats et interprétation

On procède le calcul avec un disque et plaquette de frein ayant ses paramètres :

$$\begin{aligned}\alpha &= 59.07 \\ R_1 &= 68.72 \text{ mm} \\ R_2 &= 83.795 \text{ mm} \\ \mu &= 0.4\end{aligned}$$

après calcul on a :

$$\begin{aligned}C_1 &= 106.38 \text{ N.m} \\ T_y &= 2749.21 \text{ N} \\ R_a &= 38.69 \text{ mm} \\ C &= 2C_1 = 212.76 \text{ N.m} \\ N &= 57.31 \text{ N}\end{aligned}$$

Le couple de freinage est supérieur au couple moteur tel que le couple moteur varie de 16 à 19 N.m

Le freinage utilisé est efficace et réponds aux exigences du couple tant qu'il est supérieur au Couple Moteur.

8.5 Conclusion

Cette étude approfondie du système de freinage et de ses différents types, ainsi que du choix du système pour le prototype, vise à fournir une compréhension complète des aspects techniques et des performances liés au freinage de la moto. Les résultats obtenus à partir des calculs de couple de freinage et de l'évaluation de l'efficacité des freins fournissent des informations précieuses pour optimiser le système de freinage et assurer la sécurité du véhicule.

9 Assemblage de La Moto

Introduction :

Cette partie du mémoire se concentre sur le processus d'assemblage et de réalisation de la moto électrique, en mettant l'accent sur les différentes étapes allant de la construction du châssis jusqu'à l'achèvement de la structure finale. Nous décrirons les outils utilisés et les techniques employées tout au long de ce processus.

9.1 Étapes D'assemblage de la Moto

1-Le Châssis :

Le châssis est réalisé par plusieurs étapes, découpe de tube, cintrage et soudage.

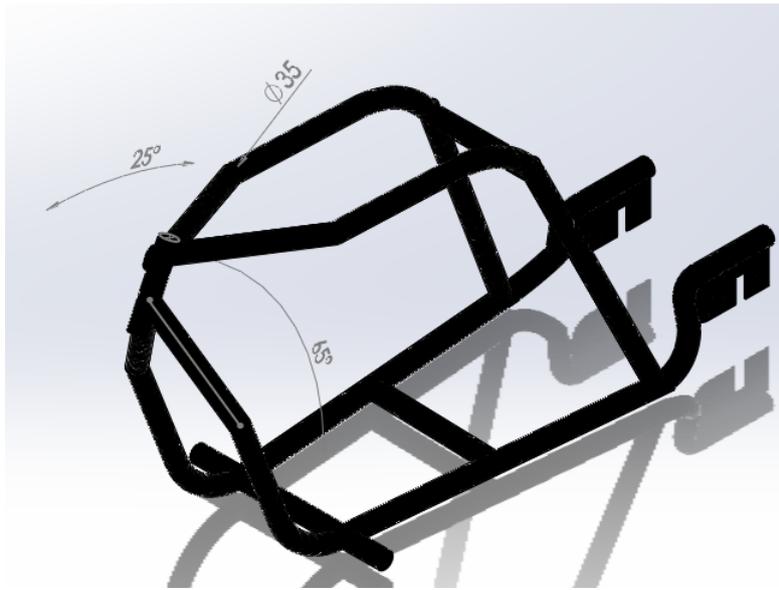


FIG. 3.44 : Le châssis de la moto

La figure ci-après montre l'aperçu final du châssis de la moto en question.

2-Le Support de Selle :

Le support de selle est fabriqué à base des tubes de même diamètre comme le châssis (35 mm de diamètre et épaisseur de 1.5 mm)

La fabrication d'une selle implique l'utilisation de contre plaqué en bois, dans lequel de la mousse est injectée. Des vis sont ensuite utilisées pour effectuer les perforations nécessaires.

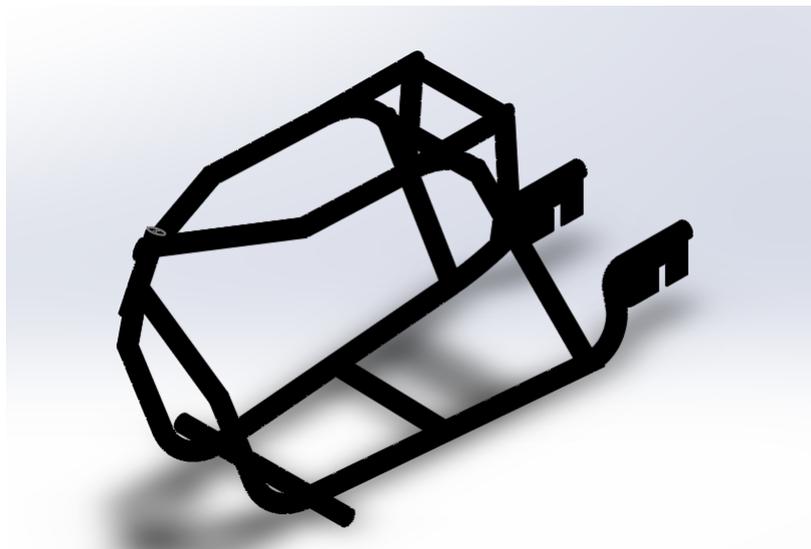


FIG. 3.45 : le châssis en intégrant le support de selle.

3- La Colonne de Direction avec les amortisseurs et le guidon :

Le guidon est conçu en utilisant les normes ergonomiques vérifiés précédemment (partie châssis).



FIG. 3.46 : Le châssis, support de selle, amortisseurs et colonne de Direction.

La colonne de Direction est équipé d'un axe taraudé de diamètre de 15mm avec deux roulements a galets de diamètre intérieur de 15 mm et diamètre extérieur de 35 mm.



FIG. 3.47 : Axe Taraudé.



FIG. 3.48 : Roulements à galets

Les Amortisseurs utilisé pour le prototype sont adaptés a partir des Amortisseurs de VMS Alpha.

Les amortisseurs sont connectés au châssis avec la colonne de direction et le guidon par une pièce en U

Cette pièce est fabriquée par une découpe plasma d'une tôle de 5 mm d'épaisseur pour avoir une bonne résistance des matériaux, ensuite elle était pliée par une plieuse numérique.

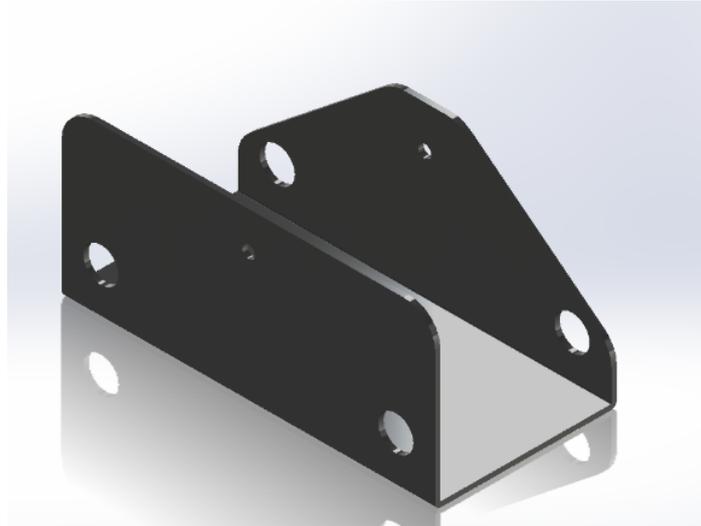


FIG. 3.49 : La pièce en U pour connecter le guidon, les amortisseurs, la colonne de direction au châssis.

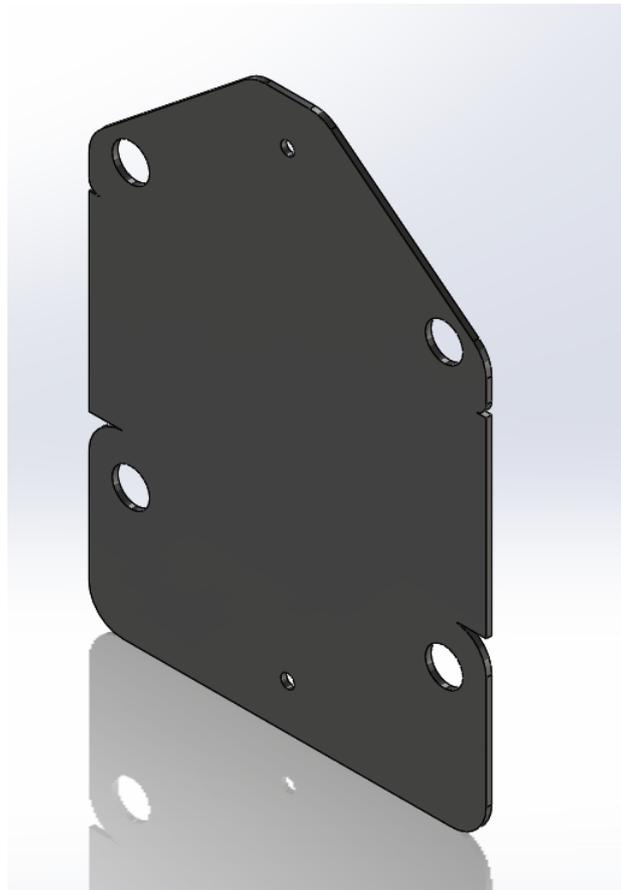


FIG. 3.50 : La tôle découpée par Plasma.

4-Le Montage de Batterie :

Le Montage de Batterie pour le prototype se fait par rivetage du boîtier sur le châssis.

Pour la production de Masse Plus Tard y aura un boîtier spécial pour la batterie et le

reste des fils électriques pour assurer un câblage encastré.

Remarque :

La Batterie est commandé en chine, mais pour un essai on a utilisé deux alimentation de 12V chacune connecté en parallèle et avec un éleveur de tension (booster) de 12 a 60V connecté au controlleur, ce dernier sera connecté au moteur , accélérateur et le reste des accessoires.

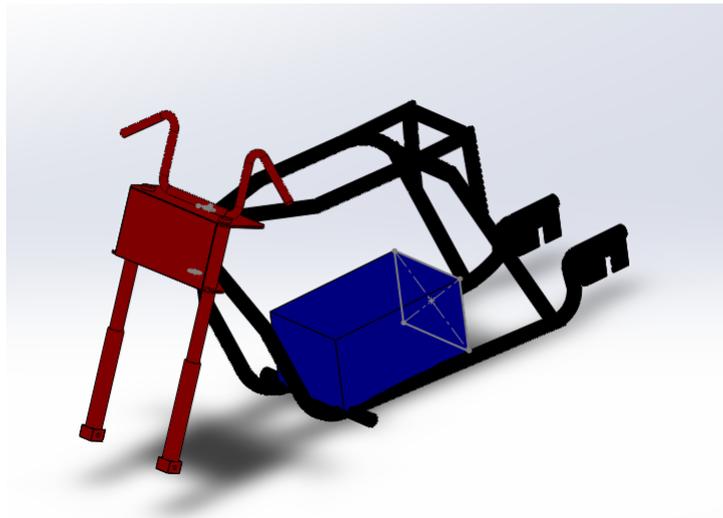


FIG. 3.51 : Montage de batterie sur le châssis.

5-Le Montage des Roues

La Roue arrière est monté par un boulon de diamètre 12 pas métrique 1.75

La Roue avant est monté par une tige filetée de diamètre 12 en mettant des écrous a leur extrémité.

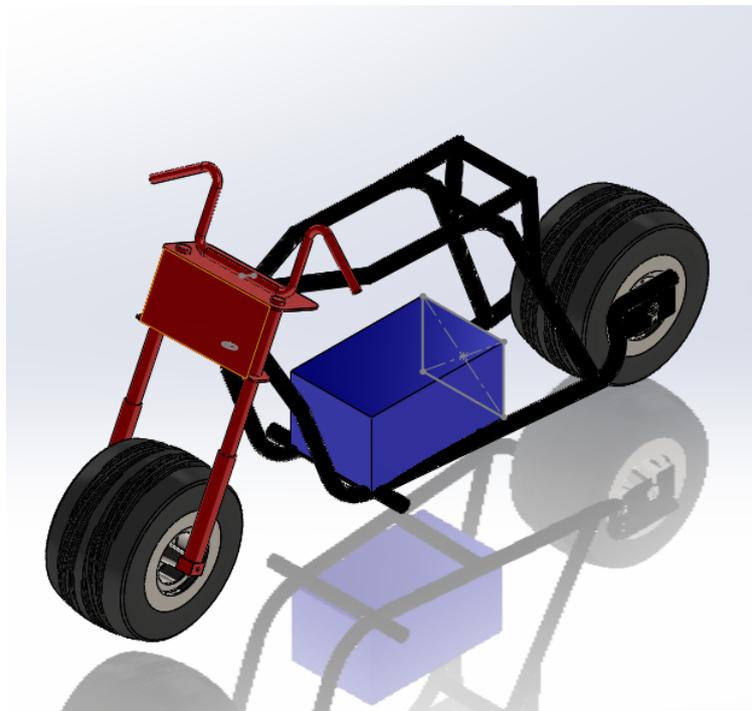


FIG. 3.52 : La structure de La Moto.

9.2 Conclusion

Cette étude détaillée du processus d'assemblage d'une moto, en mettant en évidence les outils utilisés et les pièces d'assemblage associées, fournit une base solide pour comprendre les différentes étapes de construction et garantir une qualité optimale dans la

réalisation finale du véhicule. Les conclusions et les recommandations formulées dans le cadre de cette analyse contribueront à améliorer les pratiques d'assemblage et à optimiser l'efficacité du processus global.

10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé de manière détaillée le processus de dimensionnement, de conception et de réalisation de la moto électrique. Nous avons commencé par aborder la conception et la simulation du châssis, en fournissant des informations sur le matériau utilisé et les diamètres des tubes sélectionnés. Par la suite, nous avons procédé au dimensionnement et au calcul énergétique du moteur et de la batterie, ainsi qu'à la simulation de la température des batteries lithium-ion pendant le cycle urbain. Les modèles utilisés ont été adaptés en fonction de la disponibilité des composants sur le marché algérien, garantissant ainsi une approche pratique et réalisable.

Nous avons également présenté le système de suspension, en expliquant les calculs effectués pour sa conception, ainsi que le système de freinage à disque choisi pour le prototype. Les étapes d'assemblage de la moto ont été décrites en détail, soulignant l'importance de chaque étape dans la construction finale du véhicule.

Le prochain chapitre de ce mémoire de fin d'étude sera consacré à l'étude technico-économique. Nous allons procéder à une analyse de rentabilité approfondie, en évaluant les aspects économiques du projet. Cela comprendra une évaluation des coûts, des bénéfices potentiels, ainsi qu'une analyse de l'investissement nécessaire pour la réalisation de la moto électrique. Cette étude permettra d'obtenir une vue d'ensemble complète de la viabilité et de la rentabilité du projet.

Chapitre 4

ANALYSE TECHNICO- ECONOMIQUE GUIDE PFE START-UP

1 Analyse technico-économique

1.1 Le domaine d'activité

Le domaine d'activité est l'industrie du motorcycle (Scooter électrique destiné à un usage urbain). BRESCO EC, dans le cadre de sa recherche et de son innovation visant à développer ses activités dans la mobilité électrique, mène une étude approfondie sur les problèmes liés à la pollution et aux émissions de gaz nocifs pour la santé, tels que le CO₂ et le NO_x, ainsi que sur les nuisances sonores générées par les différents moyens de transport. Ce projet s'inscrit dans le fort engagement de BRESCO à proposer des solutions durables à faible impact environnemental, tout en ayant un impact sociétal positif.

L'étude examine spécifiquement les problèmes de pollution atmosphérique causés par les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) provenant des véhicules traditionnels. Elle met en évidence les conséquences néfastes de ces émissions sur la santé humaine et sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le changement climatique, la qualité de l'air et la détérioration de la biodiversité.

Parallèlement, l'étude se penche également sur les problèmes de bruit générés par les moyens de transport conventionnels, tels que les moteurs à combustion interne, qui peuvent avoir un impact négatif sur la qualité de vie des populations urbaines.

En outre, l'étude aborde la question des embouteillages dans les grandes villes, qui est un problème majeur entraînant des perturbations dans la circulation, des temps de trajet allongés, une consommation accrue de carburant et une augmentation des émissions polluantes.

En rassemblant ces données et en analysant les différents aspects de la pollution, des émissions nocives, du bruit et des embouteillages, BRESCO EC cherche à développer des solutions innovantes et durables dans le domaine de la mobilité électrique. L'objectif est de proposer des alternatives de transport plus propres, plus efficaces, moins bruyantes et offrant une meilleure qualité de vie dans les zones urbaines,

-Le projet proposée consiste dans le prototypage dans le motorcycle électrique à usage urbain dans l'objectif de lancer une unité de production de moto avec un taux d'intégration élevée destinée à l'export.

-Le lieu d'implantation sera sélectionné selon la disponibilité du foncier industriel et plus prêt au ports en Algérie Pour l'exportation.

-Le projet est portée par BRESCO EC en partenariat avec l'école polytechnique.

1.2 Les valeurs proposées

Les valeurs proposées peuvent être les suivantes :

-Moto électrique rechargeable même avec des prises domestiques.

-Design ergonomique et confortable.

-Autonomie de 50km destinée à un usage urbain.

-Prix Abordable

-Puissance moteur 1.5 KW (équivalente à 50cc)

-Peut être utilisé pour livraison des colis (ajout des supports de marchandise) ou pour des transports personnels

-Un taux d'intégration de 57% en Algérie

-Facilité d'utilisation (permis moto équivalent à 50cc)

- Une solution à un problème d'émission et de bruits.
- Absence de maintenance par rapport aux motos thermique.

1.3 Equipe de travail

L'équipe du projet est composée des membres suivants :

- MEZIANE Mohamed Said : élève ingénieur en 5^{ème} année Génie Mécanique à l'école nationale Polytechnique.
- Le rôle de l'étudiant est de diriger le projet sur le plan technique (conception et réalisation), les études de marché et le marketing
- Le rôle des encadreurs de l'école est d'encadrer le travail sur le plan technique.
- Le rôle des encadreurs de BRESCO EC est d'encadrer le travail sur le plan business et le financement du prototype, accompagnement, accès au sous-traitant, partenaire et au réseau.

1.4 Objectifs du projet

- Etude et réalisation d'un prototype de moto électrique.
- Etude de marché des motos électriques en Algérie.
- Etude pour la réalisation d'unité de production et de montage.

1.5 Calendrier de réalisation du projet

			Mois						
			1	2	3	4	5	6	7
1		Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓						
2		Commande des équipements		✓					
3		Construction d'un siège de production (usine)				✓			
4...		Installation des équipements					✓		
5		Achat de matières premières					✓		
6		Réalisation du prototype						✓	

FIG. 4.1 : Calendrier de réalisation du projet

1.6 Les aspects innovants

- Conception, étude et réalisation d'une moto électrique fabriquée localement.
- Application Mobile pour le contrôle à distance et développer un Business de location et de vente.

1.7 Le segment du marché

1.7.1 Marché potentiel

- Géographiquement : Algérie, Tunisie.
- Usage : usage urbain pour transport personnel, livraison.
- pouvoir d'achat : pour une moto de 250000 Da, 13 mois de salaire (Smic 20000 da)
- profil acheteur : Livreur, étudiant et fonctionnaire.

1.7.2 Marché ciblé

- Géographiquement : Europe.
- Usage : usage urbain pour transport personnel, livraison ou location.
- pouvoir d'achat : pour une moto de 1800 euro, 1.5 mois de salaire (smic 1200 Euro)
- Profil acheteur : Livreur, étudiant et fonctionnaire.

1.8 Mesure de l'intensité de la concurrence

-Les deux roues électriques : trottinettes et moto électriques (city coco), leur faiblesse est l'absence de concessionnaires et représentants en Algérie. Elles étaient importées par des particuliers.

-Les Motos et scooters thermique avec différentes marques disponibles avec leur services après-vente ce qui facilite l'achat et la maintenance.

Le marché Algerien est estimée à 100000 Motos par An L'objectif est de positionner sur 1% du Marché pour la première Année (1000 Motos)

1.9 La stratégie marketing

-Produit : Moto électrique mono place pour un usage urbain avec une application mobile pour le contrôle à distance.

-Prix : un prix compétitif et abordable.

-Promotion : La communication digital à travers les réseaux sociaux, les salons d'exposition, application mobile.

-Place : Showroom agréés, magasins particuliers, ateliers, application mobile.

1.10 Le processus de production

1- Dimensionnement du Moteur électrique et de Batterie.

2- Conception et simulation de châssis.

3- Modélisation du système de freinage et de suspension.

4- Achat de la matière première. (Tube en acier, Pilles lithium-ion, BMS, câbles, connecteurs tôles, pognet d'accélérateurs, contrôleurs, Moteur BLDC, freinages et amortisseurs, mousse)

5- Réalisation du châssis tubulaire (découpe de tube par une tronçonneuse, cintrage des tubes en utilisant une cintreuse hydraulique et la soudure en utilisant l'arc électrique.)

6- Montage et assemblages des pièces. (Montage du guidon, colonne de direction, amortisseurs, roues et freins)

7- Contrôle qualité et homologation.

8- Distribution et vente.

1.11 L'Approvisionnement

Dans le processus d'achat, nous traitons directement avec les propriétaires des usines de fabrication de moteurs, piles, BMS et les autres pièces ce qui est un avantage concurrentiel pour notre projet.

TAB. 4.1 : Les fournisseurs et moyens de transport pour les pièces utilisés.

Pièces	Fournisseur	Type de transport
Moteur	Citycoco (international)	Importé par bateau de Chine
Piles lithium-ion 18650	Aliexpress (international)	Importé par bateau de Chine
BMS	Aliexpress (international)	Importé par bateau de Chine
Tube en Acier	Anabib (local)	Transport routier
Mousse	Chine/Turc (international)	Importé par bateau
Amortisseurs	KYB/RECORDS/FEBI BILESTIN (international)	Importé par bateau
Freins	VMS (international)	Importé par bateau
Accélérateurs	VMS (international)	Importé par bateau
Câbles	BMS (local)	Transport routier

1.12 La main d'œuvre

- Chef de projet (Manager)
- 3 ingénieurs mécanique et mécatronique.
- 5 manœuvres pour la réalisation du châssis, selle, assemblage et batterie.
- Responsable Rh et comptable.
- Responsable d'achat.
- 2 Agents de commerciale et de marketing.
- 3 Agents de Nettoyage.
- Agents de sécurité.

1.13 Les principaux partenariats

Les partenariats les plus importants dans notre cas sont les fournisseurs, au regard de l'importance de leurs prestations pour la réussite du projet. Les encadreurs de l'ENP aussi fournissent une aide précieuse aux projets. Sans oublier le poids des structures de financement du projet de d'encadrement de l'entreprise BRESCO E C.

Pour le lancement du projet soit un prêt ANSEJ

- Fournisseur de Tube : ANABIB.
- Fournisseur de Pile lithium, BMS : importé de chine.
- Fournisseur de composants électriques : importé de chine (moteur BLDC type HUB et des convertisseurs, contrôleur),
- Fournisseur des selles, le freinage, et les amortisseurs et ressorts à boudin. Pneus avec des fournisseurs nationaux ou internationaux.

1.14 Plan Financier

Définitions économiques :

-CAPEX-OPEX : Les dépenses d'exploitation (OPEX) font référence aux coûts courants associés à l'exploitation d'un produit, d'une entreprise ou d'un système. Elles englobent les charges régulières nécessaires au fonctionnement quotidien. En revanche, les dépenses d'investissement (CAPEX) concernent les immobilisations, c'est-à-dire les dépenses qui ont une valeur durable sur le long terme.

Lors de l'élaboration du budget annuel (généralement à l'automne de l'année précédente), il est nécessaire de décider si les dépenses futures prévues doivent être classées en OPEX ou en CAPEX. Cette décision est prise lors de l'engagement des dépenses, et elle nécessite une description et une justification détaillées de la nature de la dépense. Les commissaires aux comptes examinent ces informations et établissent des règles pour leur classification. Par exemple, l'achat d'un photocopieur serait considéré comme un CAPEX, car il s'agit d'un bien durable. En revanche, les coûts annuels liés à l'achat de papier et de cartouches seraient classés en OPEX, car ce sont des consommables nécessaires au fonctionnement continu du photocopieur. De même, l'achat d'une machine nécessitant un investissement important serait classé en CAPEX, mais les matières premières et les ressources telles que l'eau, l'électricité ou le gaz utilisées pour son fonctionnement quotidien seraient considérées comme des OPEX.

Dans le cas de grandes entités telles que les entreprises, les dépenses d'exploitation peuvent également inclure les coûts liés aux employés et aux services, tels que le loyer et les services publics (eau, gaz, électricité, etc.). [61]

-Charges fixes : Les charges fixes sont des charges récurrentes que vous devrez payer quel que soit le niveau d'activité de l'entreprise. Les charges fixes sont par exemple les amortissements, le loyer, les frais administratifs, les différents honoraires, les salaires [62]

-Charges variables : également appelées charges d'activité ou charges opérationnelles, désignent des dépenses qui fluctuent en fonction de l'activité de l'entreprise. [62]

-La marge sur coût variable correspond au prix de vente par unité moins le coût variable par unité. La marge représente la part du chiffre d'affaires non consommée par les coûts variables et contribue ainsi à la couverture des coûts fixes. Ce concept est l'un des éléments clés de l'analyse du seuil de rentabilité. [63]

-Le seuil de rentabilité correspond au niveau d'activité minimum à partir duquel l'activité d'une entreprise devient rentable, soit le moment à partir duquel les recettes obtenues couvrent l'ensemble des frais (fixes ou variables) exposés par elle. [64]

Au-delà de ce seuil, l'entreprise est réputée accéder à la zone du bénéfice. La valeur de ce seuil peut être exprimée en volume produit, en chiffre d'affaires encaissé ou en périodes temporelles (en années, par exemple). [64]

-Le point mort se calcule à partir du seuil de rentabilité, il s'agit du seuil d'activité minimum que doit atteindre l'entreprise pour commencer à gagner de l'argent. Il symbolise le moment où elle ne réalise ni gains ni pertes sur son activité, c'est le niveau d'équilibre. [65]

TAB. 4.2 : Plan financier pour investissement.

Désignation	Montant (DA)
Prix de revient	270000.00
Marge	30%
Prix de vente	246568.00
OPEX/unité	234161.00
CAPEX	11581848.00
Ventes annuelles	360000000.00
Charges fixes	16407360.00
Marge sur coût variable	84868.00
Seuils de rentabilité	47668827.00
Point Mort	696 jours
Nombre de motos vendues pour le seuil de rentabilité	1907 motos

Conclusion Générale

En conclusion de ce mémoire de fin d'études, notre projet visait à concevoir, dimensionner et réaliser une moto électrique en partenariat avec Brenco EC. Nous avons suivi une méthodologie rigoureuse, commençant par une modélisation théorique suivie de calculs, de conception et de simulations, avant de passer à la phase de prototypage. La première étape de notre projet a été consacrée à l'analyse du châssis, en prenant en compte les contraintes de conception, le choix des matériaux et le type de châssis. Nous avons réalisé la conception sur SOLIDWORKS et validé celle-ci par des simulations utilisant la méthode des éléments finis sur ANSYS Workbench.

La deuxième étape a été consacrée au calcul énergétique, où nous avons déterminé la puissance requise du moteur et l'énergie nécessaire de la batterie pour atteindre une vitesse de 50 km/h et une autonomie de 50 km. Nous avons réalisé une modélisation théorique et intégré celle-ci sur SIMULINK en utilisant un cycle de conduite conforme à la norme européenne NEDC. Nous avons également évalué la température des batteries afin d'envisager un système de refroidissement si nécessaire.

Le choix du moteur et des roues a dépendu de leur disponibilité sur le marché algérien, en privilégiant un moteur BLDC monté sur la roue arrière. Nous avons également pris en compte le confort en concevant un système de suspension capable d'absorber les chocs. Une étude théorique sur la suspension à l'huile a été réalisée, suivie du calcul du coefficient d'amortissement en fonction de l'amortisseur utilisé pour le prototype. Les résultats ont été validés par des simulations sur ANSYS Workbench avant leur application sur le prototype.

Avant l'assemblage final de la moto, nous avons effectué le calcul du couple de freinage en fonction des plaquettes de frein et des étriers disponibles sur le marché. Nous avons vérifié leur efficacité en cas d'obstacle. Enfin, nous avons expliqué les étapes de montage et d'assemblage de la moto en utilisant différents outils.

Une étude économique a été réalisée pour évaluer la faisabilité de l'investissement et déterminer le seuil de rentabilité. Cela nous a permis d'estimer la demande de crédit et les coûts d'investissement associés.

En somme, ce projet de fin d'études a été une occasion de mettre en pratique nos connaissances théoriques en réalisant toutes les étapes nécessaires à la conception et à la réalisation d'une moto électrique. Nous espérons que les résultats obtenus et les recommandations formulées contribueront à l'avancement du domaine des véhicules électriques en Algérie.

Références

Références:

- [1] "moto électrique," [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Moto_%C3%A9lectrique. [Accessed 15 mars 2023].
- [2] "Histoire des motos électriques," [Online]. Available: [https://ox-motorcycles.com/fr/2021/08/20/histoire-des-motos-electriques/..](https://ox-motorcycles.com/fr/2021/08/20/histoire-des-motos-electriques/) [Accessed 20 avril 2023].
- [3] "avantages des motos électriques," bing, [Online]. Available: <https://bing.com/search?q=avantages+des+motos+%c3%a9lectriques..> [Accessed 20 avril 2023].
- [4] "deux roues électrique," [Online]. Available: [https://izi-by-edf.fr/blog/deux-roues-electrique-avantage/..](https://izi-by-edf.fr/blog/deux-roues-electrique-avantage/) [Accessed 20 avril 2023].
- [5] "inconvenients des motos électriques," [Online]. Available: <https://bing.com/search?q=inconv%c3%a9nients+des+motos+%c3%a9lectriques..>
- [6] "marchés des moto," [Online]. Available: <https://www.statista.com/outlook/mmo/motorcycles/senegal?fbclid=IwAR0iXOUDx7jQADdNMDgjZtJg5-1BR9NnL5kEjS9Ptd4XfdqXPBec2K7IfA> . [Accessed 23 novembre 2022].
- [7] "electric-e-bike-market," fortunebusinessinsights, [Online]. Available: <https://www.fortunebusinessinsights.com/electric-e-bike-market-102022>. [Accessed 12 avril 2023].
- [8] "guyemoto," basic-knowledge of electric motorcycle accesso, [Online]. Available: <https://www.guyemoto.com/news/basic-knowledge-of-electric-motorcycle-accesso-40972115.html>. [Accessed 12 decembre 2022].
- [9] "lebonquad," [Online]. Available: <https://www.lebonquad.com/pièces-detachées-moto-enfant/4531-cadre-de-pocket-cross-electrique.html>. [Accessed 05 janvier 2023].
- [10] "lerepairedesmotards," [Online]. Available: <http://www.lerepairedesmotards.com/technique/moto-electrique.php>. [Accessed 20 mars 2023].
- [11] "aliexpress/ controleur citycoco," [Online]. Available: <https://fr.aliexpress.com/i/1005002289677728.html>. [Accessed 01 mai 2023].
- [12] "acti-ve," [Online]. Available: <http://acti-ve.org/anticiper-lobsolescence-de-la-voiture-thermique/pollution/2017/10/>. [Accessed 05 juin 2023].

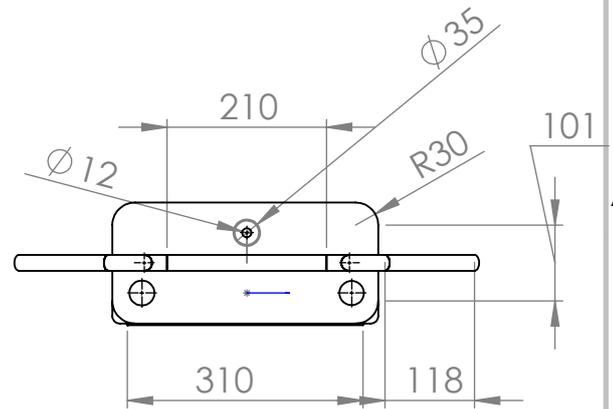
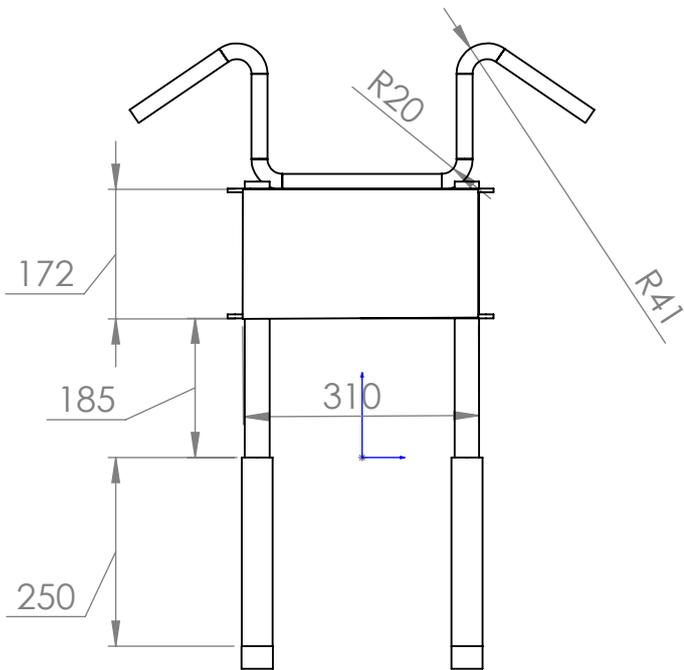
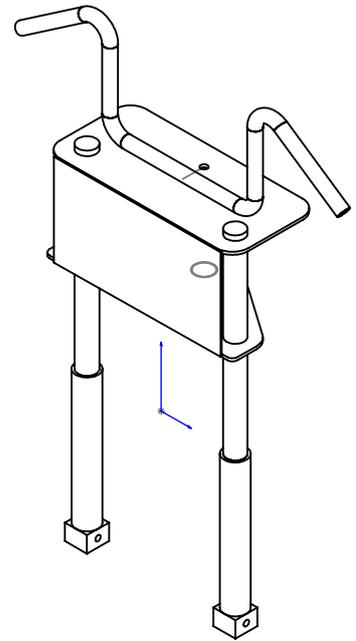
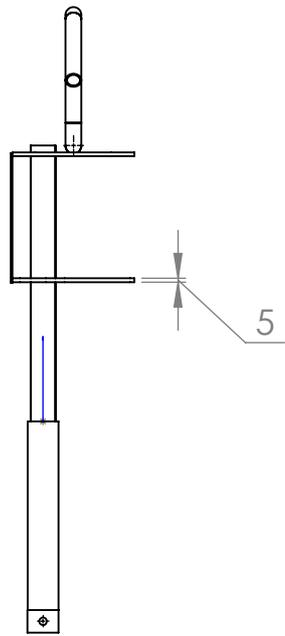
- [25] "Engrenage," Wikipédia, [Online]. Available: Engrenage — Wikipédia (wikipedia.org). [Accessed 05 Mai 2023].
- [26] "avantages-et-inconvenients-des-differents-types-de-transmission," colege.unblog, [Online]. Available: <http://colege.unblog.fr/2010/06/03/avantages-et-inconvenients-des-differents-types-de-transmission/#:~:text=liaison%20par%20engrenages%20%3A%20les%20avantages,lubrification%20est%20le%20seul%20inconv%C3%A9nient..> [Accessed 15 Mai 2023].
- [27] "Moteur-roue," wikipedia, [Online]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur-roue>. [Accessed 05 Mai 2023].
- [28] "Batterie_au_plomb," wikipedia, [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Batterie_au_plomb. [Accessed 13 juin 2023].
- [29] "batterie-nickel-cadmium-ni-cd," [Online]. Available: <https://rema.energy/product/batterie-nickel-cadmium-ni-cd/>. [Accessed 14 juin 2023].
- [30] "high-temperature-battery," everexceed, [Online]. Available: https://fr.everexceed.com/high-temperature-battery_c15. [Accessed 14 juin 2023].
- [31] "batteries/lithium-manganese," renseigner., [Online]. Available: <https://renseigner.com/technologie/energie-electrique/batteries/lithium-manganese>. [Accessed 14 juin 2023].
- [32] [Online]. Available: <https://www.sonepar.fr/catalog/fr-fr/products/00399646582>. [Accessed 14 juin 2023].
- [33] "batterie-lithium-ion," futura-sciences, [Online]. Available: <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/chimie-prix-nobel-chimie-2019-recompense-inventeurs-batterie-lithium-ion-77863/>. [Accessed 14 juin 2023].
- [34] "bornes-de-recharge," go2roues, [Online]. Available: <https://www.go2roues.com/guide/electrique/bornes-de-recharge/>.
- [35] "cadre moto," wikipedia, [Online]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cadre_\(moto\)#:~:text=Sur%20une%20moto%2C%20le%20cadre,sur%20les%20mod%C3%A8les%20de%20comp%C3%A9tition..](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cadre_(moto)#:~:text=Sur%20une%20moto%2C%20le%20cadre,sur%20les%20mod%C3%A8les%20de%20comp%C3%A9tition..) [Accessed 05 Mars 2023].
- [36] "mecanique-vehicule/habitacle/chassis," ornikar, [Online]. Available: <https://www.ornikar.com/code/cours/mecanique-vehicule/habitacle/chassis>. [Accessed 22 juin 2023].

- [37] L. Costa, Modélisation du comportement dynamique d'un deux-roues motorisé pour la reconstruction d'accidents et la détection d'incidents, HAL, 2017.
- [38] T. Foale, Motorcycle Handling and chassis design, The Art and science.
- [39] "moto_electrique," maisondelenergie, [Online]. Available: https://www.maisondelenergie.fr/sites/maisondelenergie.fr/files/moto_electrique.pdf. [Accessed 20 avril 2023].
- [40] S. E. W. ., Y. U. N. ., I. S. ., A. A. N. MUHAMMAD NUR YUNIARTO, "Modeling, Simulation, and Validation of An Electric Scooter Energy Consumption Model: A Case Study of Indonesian Electric Scooter".
- [41] "resistance_au_roulement," wikipedia, [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistance_au_roulement. [Accessed 10 Mars 2023].
- [42] H.-e. D. Anouar BENZITOUNI, "Transformation de la motorisation mécanique en électrique," 2021.
- [43] "Controlleur citycoco," aliexpress, [Online]. Available: https://fr.aliexpress.com/item/1005003552407140.html?spm=a2g0o.detail.0.0.4cb6rXNP rXNP0w&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40050.281175.0&scm_id=1007.40050.281175.0&scm-url=1007.40050.281175.0&pvid=7e23311c-c057-4086-bc26-ef4b4e707da3&_t=gps-id:p. [Accessed 23 juin 2023].
- [44] "variateurs-de-vitesse-et-controlleurs-brushless," absolu-modelisme, [Online]. Available: <https://www.absolu-modelisme.com/variateurs-de-vitesse-et-controlleurs-brushless#:~:text=Les%20moteurs%20brushless%20fonctionnent%20en,entra%C3%A9ner%20la%20rotation%20du%20moteur..> [Accessed 02 mai 2023].
- [45] "controlleur citycoco," aliexpresse, [Online]. Available: https://fr.aliexpress.com/item/1005005396438411.html?spm=a2g0o.productlist.main.7.44091d72fpmkg&algo_pvid=c0c5a638-e367-4616-894e-d0f1e59262fe&algo_exp_id=c0c5a638-e367-4616-894e-d0f1e59262fe-3&pdp_npi=3%40dis%21EUR%2126.46%2126.46%21%21%21%21%21%4021021. [Accessed 02 mai 2023].
- [46] "Accumulateur_lithium-ion," wikipedia, [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_lithium-ion. [Accessed 02 mai 2023].
- [47] "composition-d-une-batterie-au-lithium," fiches-auto, [Online]. Available: <https://www.fiches-auto.fr/articles-auto/voiture-electrique/s-2506-composition-d-une-batterie-au-lithium.php>. [Accessed 02 mai 2023].

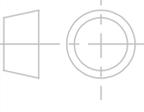
- [48] "comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion," parlonsscience, [Online]. Available: <https://parlonsscience.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion>. [Accessed 02 mai 2023].
- [49] "batterie Li-ion," [Online]. Available: Technique : batterie Li-ion (guillaumedarding.fr). [Accessed 02 mai 2023].
- [50] "battery-management-system," indiamart, [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/battery-management-system-tdt-3s-4s-2850055561955.html>. [Accessed 22 juin 2023].
- [51] "18650-Lithium-rechargeable-battery," amazon, [Online]. Available: <https://www.amazon.ca/-/en/LG-18650-Lithium-rechargeable-battery/dp/B081TNFJ2V>. [Accessed 03 mai 2023].
- [52] F.-A. L. S. M. I. C. H. Louis Pelletier, "Sizing of a Battery Pack Based on Series/Parallel," IEEE, 2022.
- [53] F. incropera, "Fundamentals of heat and mass transfer".
- [54] "support piles 18650," alibaba, [Online]. Available: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffrench.alibaba.com%2Fproduct-detail%2FCustom-Cylindrical-18650-Lithium-Cell-Battery-1600081024059.html&psig=AOvVaw3k4ALxh_cxQMKWeT7U8MQZ&ust=1683909777678000&source=images&cd=vfe&ved=0CBMQjhqxqFwoTCLjQpqb7.
- [55] M. A. N. A. T. S. F. e. M. K. H. F. Nur Hazim, "Simplified heat generation model for Lithium-ion battery used in electric vehicle.," *IOP conference series Materials science and Engineering*,, 2013.
- [56] "laroue," toutsurlamoto, [Online]. Available: <https://www.toutsurlamoto.com/laroue.htm>. [Accessed 23 juin 2023].
- [57] "Roue-Arriere-complete-pour-Citycoco-1500w," ultra-discount, [Online]. Available: <https://www.ultra-discount.com/Roue-Arriere-complete-pour-Citycoco-1500w-p-19940.html>. [Accessed 23 juin 2023].
- [58] "Suspension_de_véhicule," wikiwand, [Online]. Available: https://www.wikiwand.com/fr/Suspension_de_v%C3%A9hicule. [Accessed 10 mai 2023].
- [59] "lefreinage," toutsurlamoto, [Online]. Available: <https://www.toutsurlamoto.com/lefreinage.htm#:~:text=Il%20existe%20deux%20types%20de,exemple%20pour%20la%20Kawasaki%20ER5.&text=Les%20syst%C3%A8mes%20actionnant%20les%20freins%20peuvent%20%C3%AAtre%20multiples..> [Accessed 04 mars 2023].

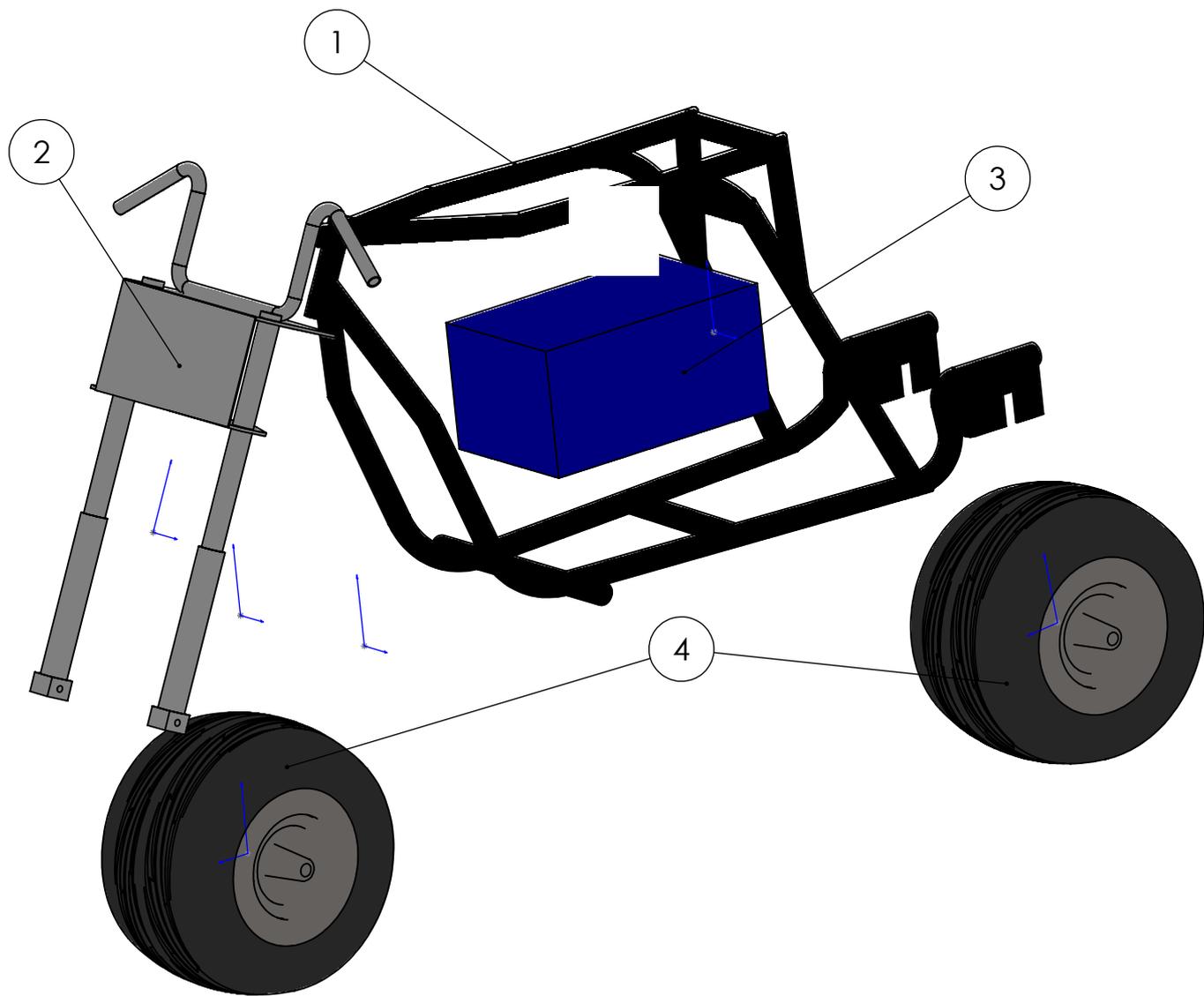
- [60] J.-J. CARRÉ, "Technologie du freinage - Freins à disque," 10 novembre 1994. [Online]. [Accessed 13 avril 2023].
- [61] "CAPEX OPEX," wikipedia, [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/CAPEX_-_OPEX. [Accessed 20 juin 2023].
- [62] "charges-variables/," .legalplace, [Online]. Available: www.legalplace.fr/guides/charges-variables/.
- [63] "la marge sur le cout variable," [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Marge_sur_co%C3%BBt_variable#:~:text=La%20marge%20sur%20co%C3%BBt%20variable,analyse%20du%20seuil%20de%20rentabilit%C3%A9.. [Accessed 20 juin 2023].
- [64] "seuil de rentabilité," wikipedia, [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Seuil_de_rentabilit%C3%A9. [Accessed 20 juin 2023].
- [65] "le point mort," entreprises.banque-france, [Online]. Available: <https://entreprises.banque-france.fr/le-point-mort-un-outil-daide-la-decision#:~:text=Le%20point%20mort%20se%20calcule,%2C%20la%20position%20neutre'..> [Accessed 20 juin 2023].

Annexes



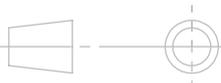
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE/ BRENCO E&C

Echelle	Masse		Ensemble de Colonne de Direction: Amortisseurs et guidon	ENP Dept G.Mécanique
Etudiant	M.S. MEZIANE			
Prés Jury	S.RECHAK			
Examineur	Y.BELKACEMI			
Promoteur	B.GUERGUEB			
Copromotrice	M.MAHFOUD			



No. ARTICLE	NOMENCLATURE	DESIGNATION	QUANTITE
1	ME1.5 01 00	Chassis tubulaire en intégrant le support de selle	1
2	ME1.5 02 00	Ensemble de la colonne de direction	1
3	ME1.5 03 00	Batterie	1
4	ME1.5 04 00	Ensemble de roues avant et arrière	2

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE / BRENCO E&C

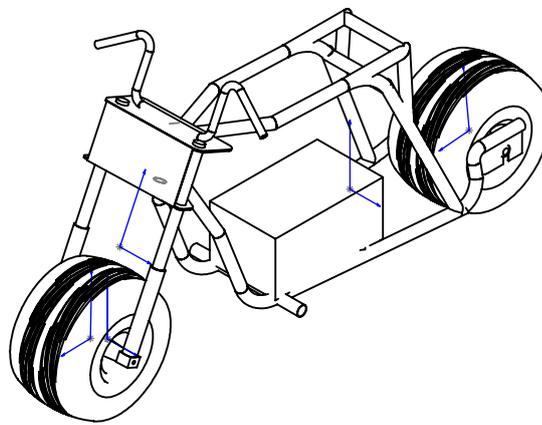
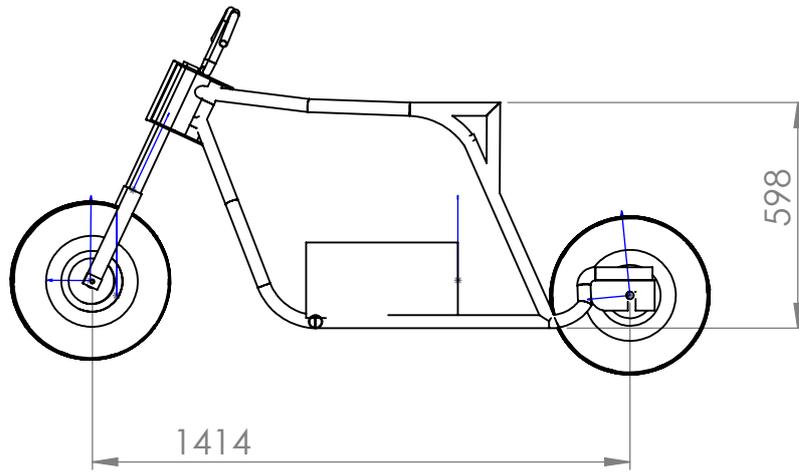


Assemblage de la Moto

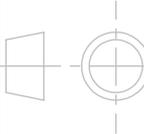
Dpt:
G.Mécanique

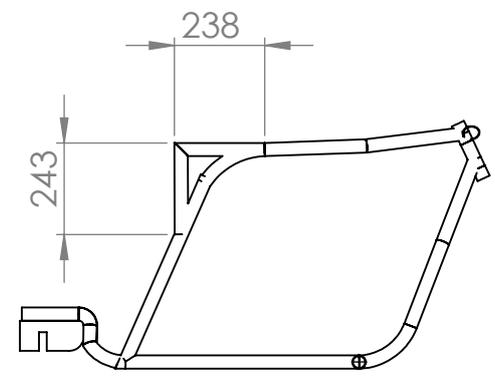
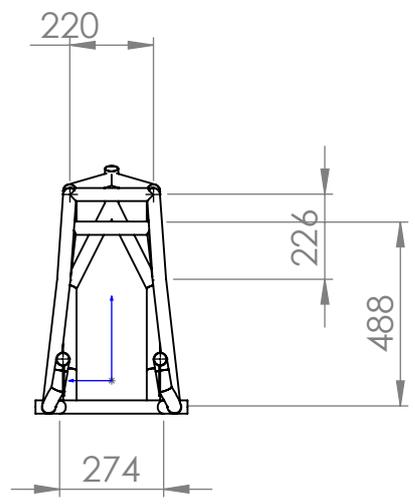
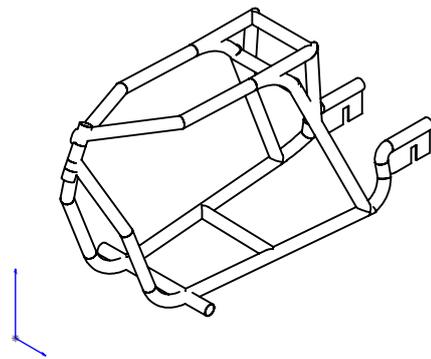
05/07/2023

MEZIANE Mohamed Said

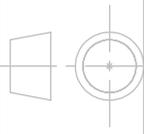


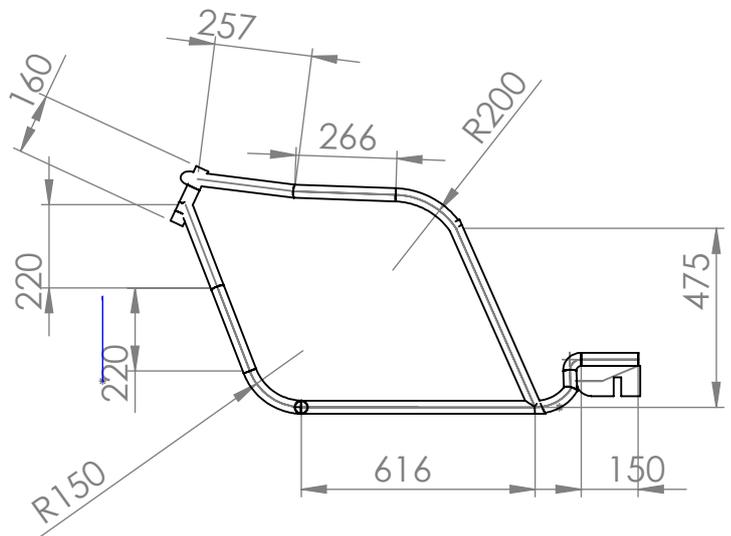
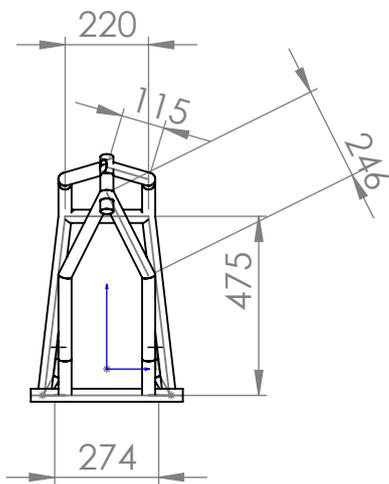
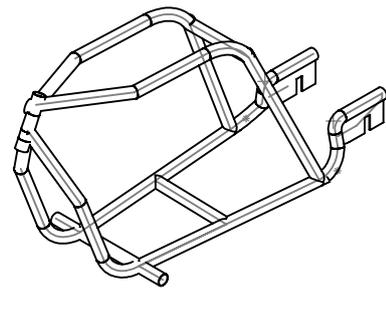
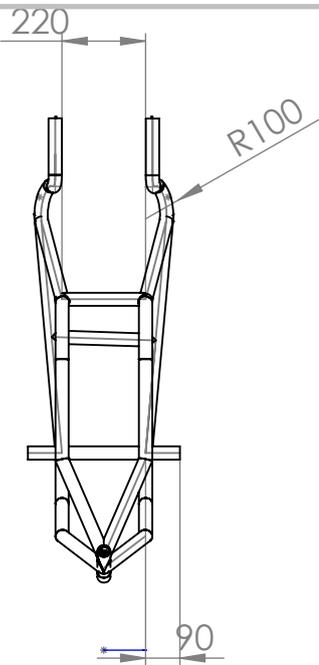
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE / BRENCO E&C

Echelle 1:20	Masse		Assemblage de la Moto	ENP Dept G.Mécanique
Etudiant	M.S.MEZIANE			
Prés Jury	S.RECHAK			
Examineur	Y.BELKACEMI			
Promoteur	B.GUERGUEB			
Copromotrice	M.MAHFOUD			



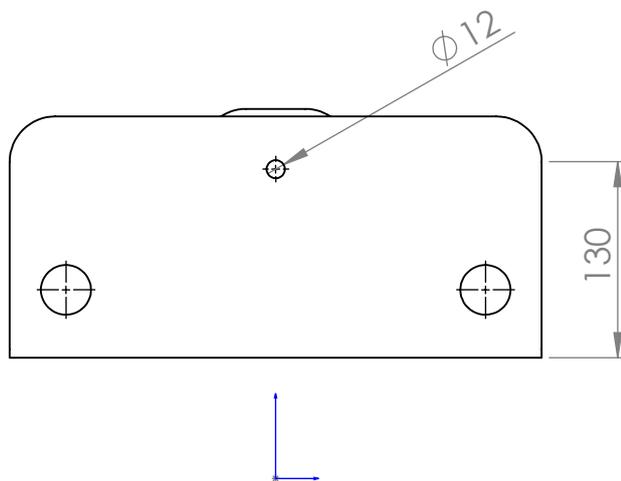
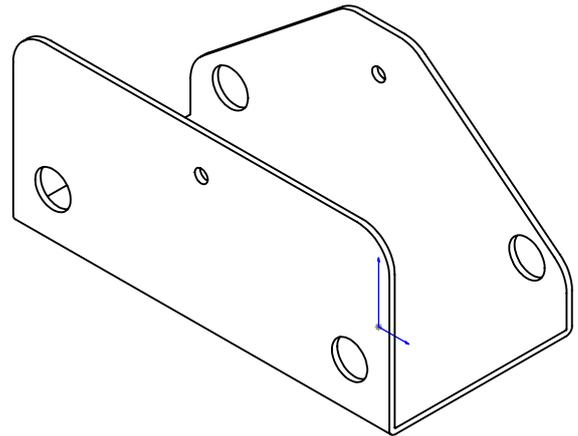
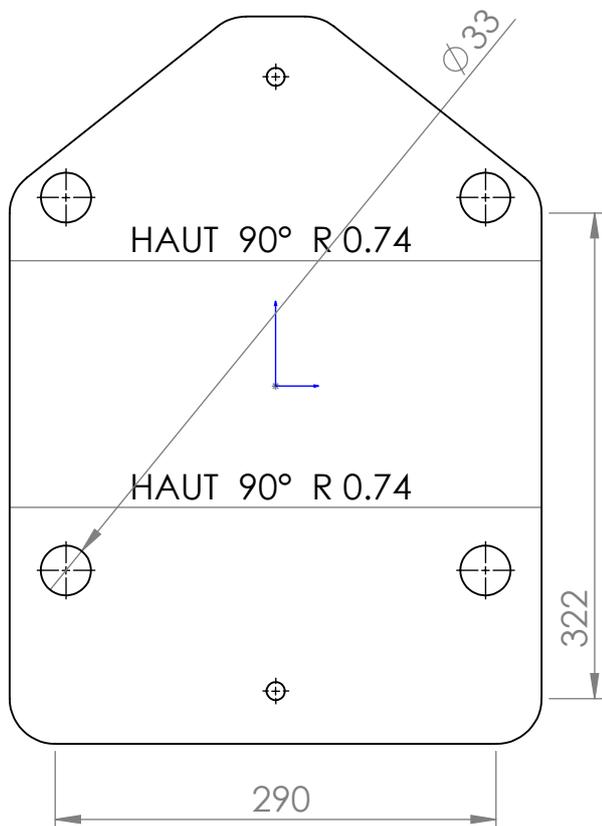
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE / BRENCO E&C

Echelle 1:20	Masse		Le Chassis De La Moto en Intégrant le Support de Selle	ENP Dept G.Mécanique
Etudiant	M.S. MEZIANE			
Prés Jury	S.RECHAK			
Examineur	Y.BELKACEMI			
Promoteur	B.GUERGUEB			
Copromotrice	M.MAHFOUD			

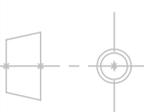


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE / BRENCO E&C

Echelle 1:20	Masse		Chassis Tubulaire de la Moto.	ENP Dept G.Mécanique
Etudiant	M.S.MEZIANE			
Prés Jury	S.RECHAK			
Examineur	Y.BELKACEMI			
Promoteur	B.GUERGUEB			
Copromotrice	M.MAHFOUD			



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE / BRENCO E&C

Echelle 1:5	Masse		La pièce en U Pour le chassiss et la colonne de Direction	ENP Dept G.Mécanique
Etudiant	M.S.MEZIANE			
Prés Jury	S.RECHAK			
Examineur	Y.BELKACEMI			
Promoteur	B.GUERGUEB			
Copromoteur	M.MAHFOUD			