

UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
APPLIQUÉES



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET INFORMATIQUE

CONCEPTION ET RÉALISATION D'UN VÉLO
ÉLECTRIQUE INTELLIGENT POUR
PARAPLÉGIQUES.

Présenté par : LUSAMBYA EBASOMBA Styve

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme
d'ingénieur civil en Génie Électrique et Informatique.

Option : Électro-énergétique.

Directeur : Prof. Dr. tech. Olivier BARAKA MUSHAGE

Encadreur : MPhil Ir. Raoul IRENGE BAGUMA.

Année Académique 2021 - 2022

ÉPIGRAPHE

« Vivre avec handicap n'est pas un handicap pour vivre »

Boniface Sedi.

DEDICACES

À notre chère Maman SALIMA Françoise

À nos frères et sœurs

LUSAMBYA Ebasomba Styve.

REMERCIEMENTS

Nous reconnaissons avoir été soutenu par le Seigneur Dieu de l'univers ; nous lui adressons nos remerciements. Car il a permis que nous arrivions à ce grand jour, qui marque la fin de nos études d'ingénieur. En effet, le présent travail, bien que présenté personnellement, est le fruit de l'agrégation d'efforts de toute une multitude de personnes qui ont participé directement ou indirectement à notre éducation tant au niveau d'étude primaire, secondaire qu'universitaires, par leur effort, leur soutien, leurs conseils ; qu'elles trouvent ici notre profonde gratitude.

Par cette occasion nous manquons des mots idoines pour louer les nobles sacrifices de notre maman SALIMA Françoise. Qu'elle trouve ici, un exemple du succès de son action dont nous reconnaissons la valeur irremplaçable.

Nous saluons le mérite du Professeur **Olivier BARAKA MUSHAGE** et du Master **Raoul IRENGE BAGUMA** pour la direction et l'encadrement de ce travail ; la pertinence de leurs remarques et leur rigueur ont valu à cette étude la qualité qui lui revient.

Nos profondes gratitude s'adressent à nos frères et sœurs, pour leur affection ainsi que la promotion de notre formation. Leur récompense est infiniment grande. Notre profonde reconnaissance s'adresse particulièrement à Deborah LUKALA, John ESAU et Justine ABWE pour leurs conseils et assistance tant morale que financière.

Nous témoignons notre profonde reconnaissance à l'Université Libre des Pays des Grands Lacs à Goma, à travers la Faculté des Sciences et Technologies Appliquées, pour nous avoir offert, durant six ans, un environnement intellectuel et convivial stimulant pour nos recherches.

Nous admirons à juste titre l'action de nos tantes, neveux, nièces, cousins, cousines et hôtes, envers qui nous demeurons débiteurs perpétuel.

Nous jetons des fleurs à nos compagnes et compagnons d'études : Krame KADURHA David, Pierre MABILI, SOKI Claudette, KABANGA Gilma, Israël MWANGE, Yves TALISI, APOTA Prospère ... avec qui avons passé des moments de prospérité et de disette. Leurs agréables conseils couronnent ce cycle d'une fin méritoire.

A tous ceux qui ont, de près ou de loin, ont contribué à notre formation, nous exprimons notre cordiale reconnaissance face à leur concours inestimable.

LUSAMBYA Ebasomba Styve.

RÉSUMÉ

Cette étude de conception et réalisation d'un vélo électrique intelligent pour paraplégique trouve sa motivation dans le fait que notre pays la RDC, en général, et notre ville de Goma en particulier a un grand nombre de personnes qui souffrent de problèmes de mobilité. Ce fauteuil roulant amélioré renforce l'autonomie de ces personnes souvent oubliées dans la société. L'idée première est de concevoir un vélo adapté au contexte de notre ville, mais cela apparait comme une dépense supplémentaire pour les handicapés qui se procurent difficilement des fauteuils roulants manuels. Alors la solution à cette problématique, est de changer la stratégie motrice en rendant électrique le fauteuil roulant existant en y intégrant des techniques de déplacement développées dans le domaine de la robotique mobile. L'intérêt de notre innovation réside dans la modification de la structure d'un vélo (fauteuil) ordinaire de manière à le motoriser et l'intégration des capteurs pour le rendre "intelligent". A l'issue de nos expérimentations, nous avons trouvé que l'intégration des moteurs dans la roue est la solution la plus adaptée à notre problème. En plus, celle-ci est techniquement bien adaptée : fort couple, faible vitesse de rotation. D'où le choix de l'usage des moteurs brushless. Nous avons également choisi les capteurs à ultrasons pour la détection d'obstacles; ces capteurs envoient des données à la carte Arduino méga qui constitue le cerveau de notre système. Grâce aux données reçues, la carte prend des décisions lors des manœuvres. Ainsi, nous avons obtenu un système capable d'escorter l'amélioration du quotidien d'une personne ayant un handicap moteur. Pour cela, nous avons mené des études d'analyse pour remédier au problème d'autonomisation de la dépense énergétique pendant la propulsion manuelle afin de prouver que ce type de fauteuil est inadapté à la physiologie et à la biomécanique du corps humain et qu'une technique alternative doit remplacer la propulsion conventionnelle.

Mots-clés : Conception, réalisation, vélo électrique intelligent, paraplégique.

ABSTRACT

This study of design and realization of a smart electric bike for paraplegic finds its motivation in the fact that our country the DRC, in general, and our city of Goma in particular has a large number of people who suffer from mobility problems. This improved wheelchair strengthens the autonomy of those often forgotten in society. The main idea is to design a bike adapted to the context of our city, but this appears as an additional expense for disabled people who have difficulty acquiring manual wheelchairs. So, the solution to this problem is to change the driving strategy by making the existing wheelchair electric by integrating mobility techniques developed in the field of mobile robotics. The interest of our innovation lies in modifying the structure of an ordinary bike (chair) so as to power it and integrating the sensors to make it “intelligent”. At the end of our experiments, we found that the integration of the motors in the wheel is the most suitable solution for our problem. In addition, it is technically well adapted: high torque, low speed of rotation. Hence the choice of the use of brushless motors. We also chose ultrasonic sensors for obstacle detection, which send data to the Arduino mega board that is the brain of our system. Thanks to the data received, the board makes decisions during manoeuvres. Thus, we obtained a system capable of escorting the improvement of the daily life of a person with a motor disability. To this end, we carried out analysis studies to address the problem of empowering energy expenditure during manual propulsion in order to prove that this type of chair is unsuitable for the physiology and biomechanics of the human body and that a technique alternative must replace conventional propulsion.

Keywords: Design, realization, smart electric bike, paraplegic.

SOMMAIRE

ÉPIGRAPHE.....	I
DEDICACES.....	II
REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ	IV
ABSTRACT.....	V
SOMMAIRE.....	VI
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	XIII
CHAPITRE 0 : INTRODUCTION GENERALE.....	1
0.1. Contexte	1
0.2. Problématique	2
0.3. Hypothèses	4
0.4. Objectifs du travail	4
0.4.1. Objectif général	4
0.4.2. Objectifs spécifiques.....	4
0.5. Choix et Intérêt du sujet.....	5
0.6. Méthodes de travail.....	5
0.7. Subdivision du travail.....	6
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART	7
1.1. Introduction partielle.....	7

1.2. Fauteuil roulant.....	7
1.2.1. Fauteuil roulant manuel.....	8
1.2.1.1. Description d'un fauteuil roulant manuel	8
A. Éléments les plus importants dans un fauteuil roulant manuel [7].	9
1.2.1.2. Caractéristiques	10
1.2.1.3. Différents types du fauteuil roulant manuel.....	10
A. Type1 : fauteuil à châssis rigide :	11
B. Type2 : fauteuil pliant à potences fixes :	11
C. Type3 : fauteuil pliant à potences amovibles :	12
1.2.2. Fauteuil roulant électrique	13
1.2.2.1. Description d'un fauteuil roulant électrique	14
A. Éléments les plus importants dans un fauteuil roulant électrique [10]	14
1.2.2.2. Différents types de fauteuils roulants électriques [10].....	15
A. Fauteuil roulant électrique d'intérieur :	15
B. Fauteuil roulant électrique d'extérieur :	15
C. Fauteuil roulant électrique à hauteur variable :	16
D. Fauteuil roulant verticaliste électrique :	17
1.2.3. Fauteuils roulants électriques qui montent escalier.	18
1.2.3.1. Description d'un fauteuil roulant électrique monte escalier.....	18
1.2.3.2. Différents types de fauteuil roulant électrique monte escalier	19
A. Avec les roues :	19
B. Avec les chenillettes :	20
1.2.4. Fauteuils roulants intelligents.....	21
1.2.4.1. Les prototypes VAHM.....	23
1.2.4.2. Les types de commande d'un FREI	25
0. Commande par joysticks :	26
1. Commandes de type tout-ou-rien :	26
2. Commandes basées sur l'analyse de la gestuelle ou de regard :	27
3. Commandes par reconnaissance vocale :	27
4. Commandes par la langue :	27
5. Commandes basées sur l'analyse des signaux physiologiques.....	28
1.2.4.3. Choix de la commande et des capteurs.....	29
1.2.4.4. Critères de classification des FREI	30
1.2.4.5. Liste des fauteuils intelligents	31
1.3. Conclusion partielle :	32
CHAPITRE 2 : ANALYSE FONCTIONNELLE DU VELO POUR HANDICAPÉ	34
2.1. Introduction partielle.....	34

2.2. Analogie entre le Fauteuil roulant et le robot mBot	34
2.2.1. Comment fonctionne le robot mBot	35
2.2.1.1. Différents types de capteurs du robot Mbot :	35
2.3. Modélisation cinématique d'un fauteuil roulant.....	36
2.3.1. Modèle cinématique continu	36
2.3.1.1. La vitesse angulaire	38
2.3.1.2. La vitesse linéaire.....	38
2.3.1.3. Le modèle cinématique.....	39
2.3.1.4. Simulation dans Simulink	39
❖ Discussion :	42
2.4. Calcul de la puissance	43
2.4.1. Mouvement longitudinal.....	43
2.4.2. Puissance aux roues :	45
2.4.3. Force de résistance	45
2.4.3.1. Force aérodynamique.....	45
2.4.3.2. Force des résistances dans les paliers	45
2.4.3.3. Force de résistance dues à la compression de pneus	46
2.4.3.4. Force due à la montée.....	46
2.5. Types de transmission :	48
2.5.1. Transmission par friction :	48
2.5.2. Transmission par engrenage avec couronne intérieure dans la roue :	49
2.5.3. Transmission par engrenage avec couronne extérieure liée à la roue :	49
2.5.4. Transmission par chaîne ou par courroie :	51
2.5.5. Moteur intégré dans la roue :	51
2.6. Conclusion partielle	52
 CHAPITRE 3 : CONCEPTION ET RÉALISATION DU VÉLO POUR PARAPLÉGIQUE	
.....	54
3.1. Introduction partielle.....	54
3.3. Finalisation de Calcul de puissance et Choix des moteurs.....	54
3.4. Module de puissance	58
3.4.1. Conception du module de puissance pour le prototype	59

3.5. Dimensionnement du système de stockage.	64
3.6. Programmation de la carte de commande.....	67
3.7. Schéma globale du système :	70
3.8. Réalisation du prototype	71
3.8.1. Capteurs d’ultrason HC-SR04.....	72
3.8.2. Vue de dessus	72
3.8.3. Boîtier de commande	73
3.8.4. Vue de dessous	74
3.8.5. Vue d’intérieure de la boîte de commande	75
3.9. Coût estimatif.	75
3.9.1. Coût estimatif de la réalisation du prototype.....	75
3.9.2. Coût estimatif pour la réalisation du projet à grande échelle	77
3.10. Conclusion partielle	77
CONCLUSION GÉNÉRALE	79
BIBLIOGRAPHIE.....	82
ANNEXES	85

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Fauteuil manuel-Invacare Ation1 [6].....	8
Figure 2: Parties d'un fauteuil roulant manuel [8].	10
Figure 3: Fauteuil à châssis rigide [11] [12].	11
Figure 4: Fauteuil pliant à potences fixes trigo-S VERMEIREN [13].	12
Figure 5: Fauteuil pliant à potences amovible-VERMEIREN V500 [14]	13
Figure 6: Fauteuil roulant électrique- MAX-E [15].....	14
Figure 7: Le fauteuil roulant électrique d'intérieur- Miniflex [17].....	15
Figure 8: Le fauteuil roulant électrique d'extérieur [10].	16
Figure 9: Le fauteuil roulant électrique à hauteur variable [10].....	17
Figure 10: Le fauteuil roulant verticaliste électrique [18].....	18
Figure 11: Le fauteuil roulant électrique monte escalier-TOPCHAIR [19].	19
Figure 12: Le fauteuil roulant électrique monte escalier avec les roues [10].....	20
Figure 13: Fauteuil roulant électrique monte escalier avec les chenillettes [10].	21
Figure 14: Fauteuil roulant électrique intelligent [23].....	22
Figure 15: Robot VAHM-1 [23].	24
Figure 16: Robot VAHM-2 [26].	25
Figure 17: Robot VAHM-3 [23].	25
Figure 18: Joystick boule de pilotage [27].....	26
Figure 19: La commande occipitale Dual Pro [28].	26
Figure 20: Système de suivi oculaire [29].	27
Figure 21: Dispositif de commande par la langue [30].	28
Figure 22: Interface Cerveau Machine (BCI) pour la 3D [29].	28
Figure 23: Joystick [31].	29
Figure 24: Capteur de distance ultrason HC-SR04 [33].	30
Figure 25: Robot mBot [35].	35
Figure 26: Signal logique [37].	35
Figure 27: Signal analogique [37].	36
Figure 28: Configuration q d'un fauteuil roulant : $q = [x(t), y(t), \theta(t)]^T$ [23].	37
Figure 29: Convention de signe pour l'angle de rotation d'une roue motrice [21].	37
Figure 30: Model Simulink du robot différentiel.	40
Figure 31: Résultat scope premier test.	40
Figure 32: Résultat scope deuxième test.	41
Figure 33: Résultat scope troisième test.	41
Figure 34: Résultat scope quatrième test.	42
Figure 35: Mouvement longitudinal.	43
Figure 36 : La force due à la montée	46
Figure 37: Transmission par friction [40].	48
Figure 38: Transmission par engrenage avec couronne intérieure dans la roue [40].	49
Figure 39: Transmission par engrenage avec couronne extérieure liée à la roue [40].	50
Figure 40: Transmission par chaîne ou par courroie [41].	51
Figure 41: Moteur intégré dans la roue [42].	51
Figure 42: Moteur intégré dans la roue [43].	52
Figure 43: Représentation de la situation en montée [40].	55
Figure 44 : Répartition de masse sur les roues [40].	56
Figure 45: Moteur brushless entraxe [44].	58
Figure 46: Contrôleur de moteur BLDC [45].	59
Figure 47: Pompe à membrane SHURflo.....	59

<i>Figure 48: Pont H [46].</i>	60
<i>Figure 49: Pont H propre.</i>	61
<i>Figure 50: Circuit L293D [47].</i>	61
<i>Figure 51: Temps d'enclenchement et de déclenchement (PWM) [35].</i>	62
<i>Figure 52 : Amplification via un transistor MOSFET [48].</i>	63
<i>Figure 53: Pont H propre modifier</i>	63
<i>Figure 54: Carte Arduino mega-2560 [51].</i>	67
<i>Figure 55: Tracé de l'exécution du programme.</i>	69
<i>Figure 56: Schéma globale du système dessiné avec Proteus</i>	70
<i>Figure 57: Vue en perspective du prototype.</i>	71
<i>Figure 58: Les capteurs du prototype.</i>	72
<i>Figure 59: Vue de dessus du prototype</i>	72
<i>Figure 60: Face de la boîte de commande</i>	73
<i>Figure 61: Vue de dessous du prototype</i>	74
<i>Figure 62: Vue d'intérieure de la boîte de commande.</i>	75

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Quelques capteurs d'un fauteuil roulant électrique intelligent et leurs rôles [23]....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 2 : Quelques projets de fauteuils roulants intelligents [21].</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 3: Les mouvements du fauteuil et leurs commandes.</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 4: Vitesse, couple en plat et en cote de 5%.</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 5: Distance, vitesse et temps de parcours.</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 6: Couple, distance et énergie.</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 7: Tension nominale, énergie et charge.</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 8: Cout estimatif de la réalisation du système</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 9: Cout estimatif de la réalisation du système à grande échelle</i>	<i>77</i>

SIGLES ET ABREVIATIONS

2D	: Deux dimensions.
BCI	: Brain Computer Interface.
BMS	: Battery Management System
CAN	: Controller Area Network
DC	: Direct Current (courant continu).
EEG	: Electro-encelogramme
EEPROM	: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EMG	: Electromyogramme.
EOG	: Electro-Oculogramme
FRE	: Fauteuil roulant électrique
FREI	: Fauteuil roulant électrique intelligent
FREME	: Fauteuil roulant électrique monte escalier
LCD	: Liquid Crystal Display
LED	: Diode électroluminescente.
MDF	: Medium Density Fiberboard
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MRU	: Mouvement Rectiligne Uniforme
PVH	: Personne vivant avec handicap.
PWM	: Pulse Width Modulation
RDC	: République démocratique du Congo
SRAM	: Static Random Access Memory
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter
VAHM	: Véhicule autonome pour handicap moteur

CHAPITRE 0 : INTRODUCTION GENERALE

0.1. Contexte

Le terme « paraplégique » veut dire, toute personne atteinte de paraplégie et qui fait allusion à un handicap qui regroupe des déficiences physiques et psychiques très variées. Ce travail s'intéresse plus particulièrement aux personnes atteintes de handicap moteur, qui se manifeste par une aptitude limitée à se déplacer, à exécuter des tâches manuelles ou à mouvoir certaines parties du corps. Depuis l'année 1984, il n'a pas été organisé de recensement de la population totale habitant la RDC, seules des estimations ont été utilisées ces dernières années, et la dernière qui remonte à 2013 fait état de plus ou moins 70 millions d'habitants. L'absence d'études approfondies, de statistiques, de données fiables ainsi que d'une documentation appropriée sur le handicap en RDC, rend difficile d'appréhender avec exactitude la problématique posée par les personnes handicapées [1].

À ce jour, seules les enquêtes faiblement documentées et généralement réalisées par les Organisations des Personnes Handicapées nationales et internationales, d'une part, et des rapports de l'Organisation Mondiale de la Santé et de la Banque Mondiale, d'autre part, ont servi parfois pour se faire une idée sur la situation des personnes handicapées en RDC. Sur une population estimée à plus de 70 millions d'habitants, les personnes handicapées représentent plus ou moins 13 millions d'individus, soit environ 18% de la population de la RDC [2]. Cette situation se justifie par plusieurs facteurs notamment les conflits armés à répétition et la résurgence des maladies handicapantes. En effet, la recrudescence des conflits armés, les multiples guerres et autres rébellions qu'a connu et continue de connaître notre pays, ont eu des conséquences néfastes sur des populations, notamment l'aggravation de la situation déjà précaire des personnes handicapées, et ont été aussi à la base des nouvelles formes de handicap. Actuellement, nombreuses personnes endurent d'une limitation de mobilité importante, présente dès la naissance ou bien surgie au cours de la vie, dont les impacts sur la vie quotidienne et les causes peuvent être variées (différentes maladies, traumatisme, ...).

Les personnes dans ces situations apprennent des stratégies et s'adaptent à leur environnement, au prix d'efforts et de patience, mais leur environnement doit donc lui aussi s'adapter pour leur permettre une autonomie et un confort de vie meilleurs que possible. Étant

donné les coûts actuels des solutions de technologies d'assistance médicale, cela représente une lourde charge financière. De plus, dans de nombreux pays ces dispositifs n'existent pas. C'est pourquoi, étant donné la disponibilité des technologies électroniques et numériques, il semble aujourd'hui essentiel de développer des dispositifs robustes, simples à mettre en œuvre et de faible coût, afin de les rendre accessibles au plus grand nombre. Malheureusement sur notre planète, le handicap est souvent synonyme de pauvreté. Ce projet se concentre plus spécifiquement sur le handicap moteur, et plus particulièrement sur des pathologies qui limitent considérablement la mobilité (lock-in syndrome, tétraplégie haut niveau, maladies neurodégénératives).

0.2. Problématique

Les personnes handicapées rencontrent de nombreux obstacles au quotidien puisque traditionnellement les environnements n'ont pas été conçus pour accueillir des personnes qui ne répondent pas à des normes générales. Le manque d'accessibilité aux lieux et aux équipements a des impacts importants sur l'autonomie des personnes handicapées, sur leur possibilité de fréquenter l'école, d'occuper un emploi, de participer à la vie de leur communauté. Le manque d'accès aux édifices et aux systèmes de transport, le manque d'adaptation du mobilier urbain, l'inaccessibilité des équipements publics, des systèmes de télécommunication et des technologies de l'information, etc., font que les personnes handicapées doivent constamment faire face à de nombreuses barrières physiques et technologiques. Les objets créés par l'homme sont utilisables par ceux répondant à des critères physiques proches de la moyenne. Par exemple, la majorité des poignées de porte est adaptée pour des êtres humains adultes, en capacité de se tenir debout, de mouvoir de manière volontaire, de contrôler au moins un de leurs membres supérieurs, et mesurant entre 1,40m et 1,90 m. Pour ceux qui ne rentrent pas dans ces critères, les poignées de porte « classiques » ne seront pas forcément la solution la mieux adaptée pour remplir leur fonction [3].

En effet, pour ceux qui s'éloignent de la moyenne, les usages quotidiens peuvent devenir difficiles voire impossibles. Pour pallier à ces difficultés, deux approches sont possibles : modifier les capacités ou les habiletés de la personne, via des solutions souvent médicales (chirurgie, rééducation, etc...) ou bien adapter l'environnement de la personne pour que celui-ci s'y adapte. La combinaison de ces deux approches permet souvent une meilleure autonomie au quotidien. Une personne en situation de handicap doit pouvoir trouver son équilibre, en fonction de ses activités

et de son mode de vie. C'est pour cette raison que notre attention a été sensibilisée au sujet sociétal qui est le handicap. Les personnes handicapées sont confrontées à certaines limites financières et sont difficilement intégrées dans notre société. En utilisant les innovations nous souhaitons améliorer le quotidien d'une personne qui souffre de paraplégie.

C'est dans cette optique que la problématique abordée dans ce projet consiste à appréhender comment améliorer le quotidien d'une personne ayant un handicap moteur, par l'amélioration de sa mobilité. Cela dans le souci d'améliorer son autonomie et de surcroît sa vie quotidienne. On peut constater, que la majorité des handicapés de la ville de Goma à mobilité réduite se procure souvent des fauteuils roulants qui malheureusement jusque-là ne répondent pas totalement encore à leur besoin de totale autonomie. Surtout qu'il faut une personne supplémentaire qui est toujours derrière pour pousser le fauteuil lorsqu'il faut monter une pente, ou lorsque le fauteuil se trouve sur un terrain caillouteux car ne sont pas motorisés. Ce qui implique des budgets supplémentaires et une limitation de l'autonomie de la personne handicapée concernée. En plus, même si le fauteuil dispose d'une pédale manuelle pour le faire avancer, cela nécessite beaucoup d'efforts pour les conducteurs en certaines circonstances (surtout lors d'une montée) pour se déplacer. Bien que l'idée première serait de concevoir un fauteuil adapté au contexte de notre ville, cela serait une dépense supplémentaire pour les handicapés qui malgré les moyens limités se sont déjà procurés des fauteuils roulants. Aussi, la conception d'un nouveau fauteuil demanderait beaucoup de temps de fonds qui risquent de le rendre inaccessible à une certaine catégorie de personnes handicapées pourtant dans le besoin. C'est pourquoi, pour aider effectivement cette tranche de la population qui se trouve déjà oubliée par notre société actuelle, il est plutôt souhaitable de modifier les fauteuils déjà existants sur le marché en les rendant autonomes pour un fonctionnement optimal. Pour mener à bien ce travail d'un grand intérêt public, les questions suivantes ont guidées notre recherche :

- ❖ Peut-on améliorer les performances des fauteuils roulants manuels (vélo pour handicapés) actuellement utilisés à Goma par les handicapés à mobilité réduite de manière à les rendre autonomes ? si oui comment ?
- ❖ Comment optimiser un fauteuil roulant manuel (vélo pour handicapé) en un vélo électrique intelligent ?

0.3. Hypothèses

Eu égard aux problèmes de perfectionnement du quotidien de la personne vivant avec handicap moteur, nous nous engageons d'apporter une solution excellente pour pallier à ces derniers. Ainsi donc, dans le cadre du présent travail, nous nous proposons les solutions suivantes comme réponses aux questions posées précédemment :

- Avec des avancées technologiques dans la ville de Goma, la disponibilité des composants sur le marché local, et la présence des compétences techniques dans la ville, il serait possible de modifier le vélo paralytique existant pour améliorer ses performances. Une solution envisageable consisterait à rendre électrique le fauteuil roulant existant en y intégrant des techniques de déplacement développées dans le domaine de la robotique mobile. Le mécanisme utilisé permettrait de convertir l'énergie électrique fournie en énergie mécanique. La fonction de conversion d'énergie se ferait grâce aux moteurs DC, cette énergie mécanique serait transmise aux roues, ce qui faciliterait le déplacement.
- L'intelligence du vélo en question résiderait dans sa capacité à percevoir l'environnement grâce à différents types de capteur en assurant une parfaite sécurité lors d'un déplacement automatique, équipé d'un système de détection d'obstacles qui aiderait les personnes handicapées ou âgées à se déplacer plus facilement tout en conservant leur autonomie.

0.4. Objectifs du travail

0.4.1. Objectif général

L'objectif de ce travail est d'améliorer les fauteuils roulants existants, qui sont utilisés actuellement par les handicapés à mobilité réduite dans la ville de Goma. Nous allons donc rendre ce fauteuil roulant standard (existant) en fauteuil électrique tout en y intégrant des habiletés de déplacement qui entrent dans le domaine de la robotique mobile. L'intégration de l'aspect "d'intelligence" sera au cœur de cette étude.

0.4.2. Objectifs spécifiques

Pour arriver à bout de notre projet nous songeons :

- Prendre contact avec le PVH pour avoir des idées claires sur la constitution et différents manœuvres du vélo pour handicapé ;

- Modifier la structure d'un vélo ordinaire de manière à le motoriser et y intégrer des capteurs pour le rendre intelligent ;
- Programmer une plateforme Arduino de sorte à respecter les manœuvres dont une PVH en a besoin ;

0.5. Choix et Intérêt du sujet

Notre attention a été sensibilisée au sujet sociétal qui est le handicap. Un grand nombre de personnes dans le monde souffrent de problèmes de mobilité, particulièrement ici chez nous en RDC/Goma où les personnes handicapées sont confrontées à certaines limites financières et sont difficilement intégrées dans notre société. La volonté de d'aider ces personnes à augmenter leur autonomie dans la vie quotidienne (à devenir des membres productifs dans notre communauté) et à se déplacer d'une manière autonome a motivé le choix de cette thématique

Parlant de l'intérêt du présent travail de recherche, il peut être vu sous deux angles, premièrement, il présente un intérêt social dans le sens où il traite d'un cas pratique d'amélioration de la vie quotidienne des handicapés à mobilité réduite pour faciliter leur intégration sociale et Deuxièmement, sur le plan scientifique : ce travail nous permettra de nous familiariser encore une fois de plus avec les composants électroniques et d'autres dispositifs comme des capteurs, carte de commande,... mais aussi d'être capable avant usage d'un dispositif, d'inférer à partir d'une carte imprimée de son schéma électronique et comprendre ce que fait la carte. Ensuite, à l'issue de ce travail, d'autres chercheurs en la matière peuvent l'utiliser comme une base de source de référence dans leurs travaux scientifiques.

0.6. Méthodes et Techniques de travail

Pour parvenir aux résultats escomptés, nous avons utilisé les méthodes et techniques suivantes :

- **Méthode analytique** : elle nous a permis d'analyser le fauteuil roulant existant pour identifier ses failles et les améliorations à y apporter pour son fonctionnement optimal.
- **Technique documentaire** : elle nous a permis de fouiller dans les manuels (livres, journaux, bibliothèque, ...) pour avoir une base théorique nécessaire à notre étude.
- **Méthode descriptive** : cette méthode nous a aidé à décrire les différents systèmes utilisés pour la conception du vélo électrique intelligent.
- **Technique expérimentale** : elle nous a permis de faire des tests, le câblage lors de la réalisation et les mesures de la structure électronique en générale. Elle nous permettra aussi

de faire la simulation à l'ordinateur grâce au logiciel tel que PROTEUS, MATLAB et la simulation de programme du vélo par l'intermédiaire du logiciel Arduino IDE.

0.7. Subdivision du travail

Pour arriver à terme de ce travail, hormis l'introduction et la conclusion, nous allons le subdiviser en trois chapitres ci-dessous :

Chapitre 1 : Revue de la littérature

Dans ce chapitre, nous tenterons de détailler les types des fauteuils roulants et leurs différentes technologies. Il comprend une présentation globale des fauteuils roulants, les différents capteurs du fauteuil puis les prototypes véhicules autonomes pour handicap moteur, et aussi les principales commandes des fauteuils roulants.

Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle du vélo pour Handicapé

Le deuxième chapitre donne une présentation détaillée de notre projet, en commençant par la modélisation du vélo pour handicapé dans le domaine continu, puis son échantillonnage afin d'obtenir le modèle cinématique. Ensuite nous expliquons les différentes étapes du traitement du signal de commande du vélo en question et faire le choix des types de transmission, des capteurs et des dispositifs de commande.

Chapitre 3 : Conception et réalisation

Le troisième chapitre est entièrement consacré à la conception et à la réalisation du vélo intelligent. On va définir la méthodologie employée pour évaluer le système homme/machine. On y présentera une solution d'analyse adaptée vu les constats faits au chapitre précédent. Les résultats de simulation seront présentés et largement commentés.

CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART

1.1. Introduction partielle

Les premières illustrations de la chaise roulante datent du sixième siècle avant Jésus Christ, en Chine. Cependant, il est probable que son apparition soit antérieure et remonte aux environs de 3500-4000 ans avant Jésus Christ avec l'apparition de la chaise et de la roue. L'utilisation de la chaise roulante est cependant restée confidentielle pendant très longtemps, limitée à quelques personnalités importantes où une tierce personne devait pousser la chaise roulante [4].

Au cours du dix-neuvième siècle, l'utilisation du fauteuil roulant s'est progressivement généralisée, entre temps, les mains courantes étaient apparues, permettant la propulsion manuelle (1881) et les roues à rayons en acier remplacèrent les roues en bois (1900). Jusqu'aux années 1930, le fauteuil roulant n'a plus subi d'améliorations notables. Il a fallu attendre 1933 avec la mise sur le marché américain par Herbert Everest et Harry Jennings du premier fauteuil roulant pliable et en métal léger. Ce dernier est à l'origine de la généralisation de l'utilisation du fauteuil roulant manuel à propulsion par mains courantes au cours du 20ème siècle. A partir des années 1950, sont apparus les premiers fauteuils roulants électriques à l'usage des personnes souffrant de déficiences motrices [4]. L'application de la méthode issue de la robotique mobile à des fauteuils roulants électriques a donné naissance à un nouveau type de fauteuils dits « intelligents » (smart Wheelchairs). Ces fauteuils sont dotés d'un dispositif de capteurs pour détecter leur environnement.

Ce premier chapitre axé sur l'état de l'art présente le différent type des fauteuils en premier lieu tout en soulignant une description pour différents types ainsi que les avantages et les inconvénients. Nous y mentionnons également les prototypes VAHM, les types de commande d'un FREI. Ainsi, nous faisons le choix de la commande qui sera implémenté dans ce travail parmi les différents types de commandes d'un FREI décrites, les critères de classification des FREI intelligents et enfin un tableau illustrant la liste des quelques projets de fauteuils roulants "intelligents".

1.2. Fauteuil roulant

Un fauteuil roulant est un dispositif assurant la mobilité à l'aide de roues et d'un système d'assise pour une personne qui a des difficultés à marcher ou à se déplacer. Le fauteuil roulant est l'aide technique la plus couramment utilisée pour améliorer la mobilité d'une personne. La

mobilité est un préalable nécessaire pour jouir des droits humains et permet aux personnes en situation de handicap de devenir des membres plus productifs de leurs communautés. Pour de nombreuses personnes, un fauteuil roulant approprié, bien conçu et bien adapté peut être le premier pas vers l'inclusion et la participation sociale.

Il existe deux sortes de fauteuils : ceux à commandes manuelles et ceux à commandes électriques [5].

1.2.1. Fauteuil roulant manuel

Un fauteuil manuel est un matériel utilisé dans plusieurs hôpitaux pour reposer des personnes après une opération chirurgicale mais également pour de personnes paraplégiques ayant l'usage des bras. Pour effectuer un choix, il faudrait donc tenir compte de plusieurs facteurs notamment l'environnement, la maniabilité, les accessoires et les caractéristiques techniques. Le type de propulsion est aussi indispensable [5].



Figure 1 : Fauteuil manuel-Invacare Aton1 [6].

1.2.1.1. Description d'un fauteuil roulant manuel

Un fauteuil roulant manuel peut être de type standard, actif, confort ou sport. Cette classification n'est pas officielle mais est couramment utilisée.

A. Éléments les plus importants dans un fauteuil roulant manuel [7].

- I. **L'assise** : Elle peut être en mousse ou en toile. Souvent, un coussin est installé dessus pour améliorer le confort et limiter les risques d'ouverture. Peut-être fixe ou inclinable, afin de permettre une meilleure installation et de limiter les risques de glissement vers l'avant.
- II. **Le dossier** : Il peut être haut ou bas, ce qui influe sur l'équilibre de la personne. Il peut être réglable en inclinaison, pliant à mi-hauteur ou rabattable afin de diminuer l'encombrement lors du rangement ou des déplacements en voiture.
- III. **Les accoudoirs** : Ils peuvent être fixes, amovibles ou rabattables et permettent un véritable maintien du membre supérieur, mais peuvent gêner lors des transferts ou de la propulsion du fauteuil roulant. C'est pourquoi chez certaines personnes, on choisit de retirer les accoudoirs et de n'utiliser que les protèges-vêtements ou les garde-boues pour augmenter la surface d'appui lors d'un transfert des personnes qui doivent prendre appui sur la roue.
- IV. **Les repose-pieds** : Ils peuvent être accompagnés de repose jambes. Peuvent être constitués d'une palette monobloc ou de deux palettes. La potence peut être fixe, inclinable ou escamotable.
- V. **Un fauteuil roulant comporte deux petites roues avant et deux grandes roues arrière** : On en trouve des pneus gonflables et des pneus à bandage. Les mains courantes (qui servent pour la propulsion) peuvent être faites de différentes matières, et recouvertes de grips antidérapants ou posséder des plots de propulsion. Le fauteuil roulant possède également, la plupart du temps, des roues anti-bascules, situées à l'arrière.
- VI. **Les freins** sont indispensables sur un fauteuil roulant manuel. Ils peuvent être placés soit de chaque côté de la personne, soit d'un seul côté. Ils peuvent avoir des rallonges, être rabattables pour un aspect plus esthétique. Ils sont à tirer, à pousser ou à ciseaux (sous le châssis).

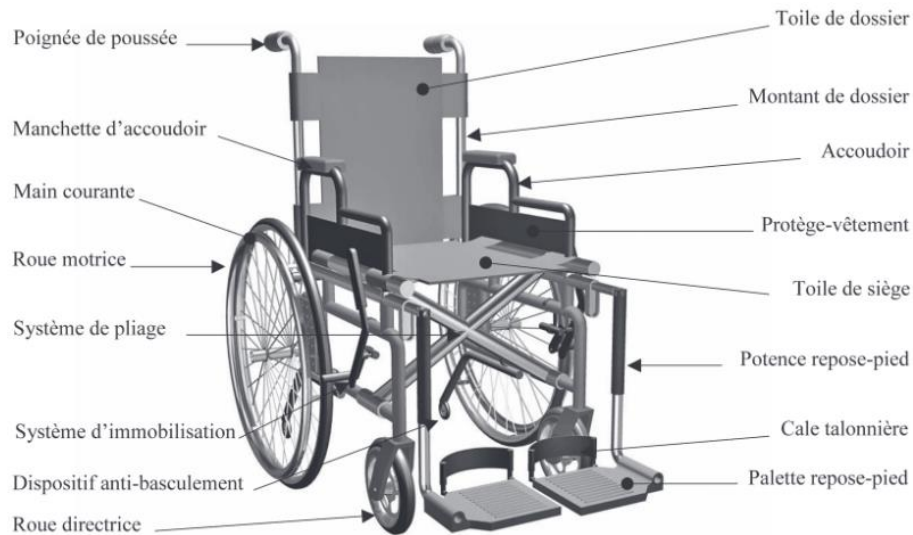


Figure 2: Parties d'un fauteuil roulant manuel [8].

1.2.1.2. Caractéristiques

Chaque fauteuil roulant possède des caractéristiques spécifiques (comme vues dans la description) qui lui permettent de répondre aux besoins individuels de chacun et d'assurer à tous une posture optimale : la largeur d'assise, la profondeur d'assise, la hauteur du dossier, la taille des accoudoirs, la hauteur d'assise avant/arrière, la largeur, la hauteur, la longueur, la largeur du fauteuil plié, le poids du fauteuil, l'inclinaison du dossier, la longueur des jambes [9].

1.2.1.3. Différents types du fauteuil roulant manuel

Il en existe trois et peuvent avoir une ou plusieurs options pour s'adapter au mieux au patient auquel il est destiné. Les personnes qui sélectionnent les chaises roulantes en consultant l'utilisateur, doivent comprendre les besoins de l'utilisateur potentiel et savoir comment elle ou il utilisera la chaise roulante ; ils devront aussi connaître les raisons pour lesquelles l'utilisateur est appelé à utiliser la chaise.

Les trois types de fauteuils roulants manuels :

- Le fauteuil roulant manuel à châssis rigide.
- Le fauteuil roulant manuel pliant à potences fixes.
- Le fauteuil roulant manuel pliant à potences amovibles [10].

A. Type1 : fauteuil à châssis rigide :

Le fauteuil à châssis rigide est très maniable et léger et ne nécessite pas une grande force musculaire pour se déplacer, il a une meilleure capacité de roulage due à la structure de son cadre moins soumis aux déformations. Il a un design très attrayant et très léger, mais est généralement non pliable comme le montre la figure 3.



Figure 3: Fauteuil à châssis rigide [11] [12].

Voici certains avantages et inconvénients :

↳ Les avantages :

- Ce fauteuil est très léger et facilement manœuvrable.
- Design très attrayant.

↳ Les inconvénients :

- Non-pliable.
- Fabrication sur mesure.

B. Type2 : fauteuil pliant à potences fixes :

Le fauteuil pliant à potences fixes à une capacité de roulage moins bonne que le précédent mais présente l'avantage d'être très peu encombrant comme le montre la Figure 4.



Figure 4: Fauteuil pliant à potences fixes trigo-S VERMEIREN [13].

Il a les avantages et les inconvénients suivants :

☞ **Les avantages :**

- Fauteuil plus léger.
- Encombrement en largeur souvent plus réduit.
- Jambes bien calées pendant le roulage du fauteuil.

☞ **Les inconvénients :**

- Moindre approche du fauteuil au plus près des plans de travail.
- Moins de possibilités de rangement.

C. Type3 : fauteuil pliant à potences amovibles :

Fauteuil pliant à potences amovibles a les mêmes fonctions que les précédents mais offre l'avantage de changer le positionnement de ces potences. La figure 5 illustre ce cas



Figure 5: Fauteuil pliant à potences amovible-VERMEIREN V500 [14]

Il a les avantages et les inconvénients suivants :

☞ **Les avantages :**

- Transfert fauteuil plus facile.
- Possibilité de varier un peu la position des jambes en fonction de l'appui sur les repose pieds.
- Possibilité de rangement plus importante (démontage potences).

☞ **Les inconvénients :**

- Fauteuil plus lourd.
- Jambes un peu moins bien calées pendant le roulage du fauteuil.
- Encombrement en longueur plus grand (en général, mais pas toujours le cas).

1.2.2. Fauteuil roulant électrique

Le fauteuil roulant électrique est idéal pour préserver l'autonomie d'une personne handicapée. C'est aussi une excellente solution pour les personnes atteintes d'un handicap sévère à plus forte raison que cet équipement octroie un confort absolu. En général le fauteuil roulant électrique est le fauteuil manuel avec un moteur électrique, batterie et le système de commande (carte de la commande). Le fauteuil roulant électrique est un produit à grande facilité d'utilisation, et d'un fonctionnement simple qui apporte à son utilisateur un sentiment de sécurité et de confort (déplacements doux et souples, précision, rapidité, etc.) [15].



Figure 6: Fauteuil roulant électrique- MAX-E [15].

1.2.2.1. Description d'un fauteuil roulant électrique

Le fauteuil roulant électrique est tout à fait indiqué pour les personnes présentant un handicap sévère ; les personnes n'ayant pas usage des bras mais aussi celles n'ayant aucune mobilité. Il facilite les déplacements à l'intérieur ou à l'extérieur d'une maison. Ils sont adaptés aux personnes qui n'ont pas ou plus les capacités de se servir d'un fauteuil roulant manuel [16].

A. Eléments les plus importants dans un fauteuil roulant électrique [10]

Nous allons voir en détail les éléments fonctionnels les plus importants dans un fauteuil roulant électrique. L'assise, le dossier, les accoudoirs, et les repose-pieds sont les mêmes que pour un fauteuil manuel mais il y a d'autres éléments qui s'ajoutent et qui font objet de différence.

On trouve :

- I. **Le moteur** : c'est le récepteur le plus utilisé dans les industries, sa fonction est de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Les moteurs électriques qu'on utilise sont à courant continu (machine à courant continu).
- II. **Les batteries** : les batteries jouent un rôle important dans le fonctionnement des fauteuils roulants électriques. Elles sont responsables de la production de l'énergie nécessaire pour faire marcher le fauteuil. Grâce à elles, le fauteuil permet d'augmenter considérablement l'autonomie de personnes à mobilité réduite. Puisqu'il peut rouler sur plusieurs kilomètres [16].

1.2.2.2. Différents types de fauteuils roulants électriques [10]

A. Fauteuil roulant électrique d'intérieur :

C'est un petit modèle de fauteuil, généralement pliable avec une autonomie de 10 à 16 km avec une vitesse max de 4 km/h et poids max d'utilisateur de 140 kg. Il existe des chaises traction avec deux roues folles, recommandés pour les environnements intérieurs et étroits [17].



Figure 7: Le fauteuil roulant électrique d'intérieur- Miniflex [17]

Voici certains avantages et inconvénients d'un fauteuil roulant électrique d'intérieur :

🔗 Les avantages :

- Petit modèle et pliable
- Recommandés pour les environnements intérieurs.

🔗 Les inconvénients :

- Faible vitesse.
- Faible puissance.

B. Fauteuil roulant électrique d'extérieur :

C'est un fauteuil à châssis fixes, grand modèle ayant une autonomie de 15 à 20 km, une vitesse pouvant atteindre 6 km/h et des roues plus épaisses pour faciliter le déplacement à l'extérieur. C'est un bon moyen de déplacement qui convient aux personnes de très faible mobilité à la marche et à l'usage des personnes souffrant de déficiences motrices sévères.



Figure 8: Le fauteuil roulant électrique d'extérieur [10].

Les avantages et les inconvénients d'un fauteuil roulant électrique d'extérieur :

↳ **Les avantages :**

- Facilité de déplacement ;
- La batterie facile et rapide à charger ;
- Il présente une meilleure image pour la personne.

↳ **Les inconvénients :**

- Faible vitesse de déplacement ;
- La batterie déchargée rapidement ;

C. Fauteuil roulant électrique à hauteur variable :

Ce fauteuil est adapté à l'environnement d'une maison et conçu pour offrir une plus grande autonomie. Ces modèles sont dérivés des fauteuils électriques sur lesquels sont fixés moteurs et batteries. Ils offrent deux gros avantages par rapport aux fauteuils électriques à châssis fixes : un faible encombrement qui facilite la maniabilité en intérieur, et la possibilité d'être pliés ou démontés pour le transport.



Figure 9: Le fauteuil roulant électrique à hauteur variable [10].

Voici certains avantages et inconvénients d'un fauteuil roulant électrique à haut variable :

🔗 **Les avantages :**

- Faible encombrement qui facilite la maniabilité en intérieur ;
- La possibilité d'être pliés ou démontés pour le transport.

🔗 **Les inconvénients :**

- Faible vitesse de déplacement ;
- La batterie est déchargée rapidement (faible énergie électrique).

D. Fauteuil roulant verticaliste électrique :

Ces fauteuils permettent de quitter la position assise pour se placer en position verticale pour raison adaptation aux patients qui ont un problème de santé et doivent se maintenir dans une position plus verticale (risque d'escarres). Il en est de même pour les modèles manuels qui disposent de très nombreuses options et accessoires permettant une meilleure personnalisation du fauteuil au besoin des personnes les plus dépendantes [18].



Figure 10: Le fauteuil roulant verticaliste électrique [18].

Voici certains avantages et inconvénients d'un fauteuil roulant électrique verticaliste :

☞ **Les avantages :**

- Disposent de très nombreuses options et accessoires
- Un meilleur fauteuil au besoin des personnes

☞ **Les inconvénients :**

- Faible puissance
- Une petite durée de vie

1.2.3. Fauteuils roulants électriques qui montent escalier.

Notre environnement est encore loin d'être accessible à toutes les personnes à mobilité réduite. C'est pourquoi certaines sociétés, voire des étudiants, ont imaginé des fauteuils roulants électriques qui montent escalier. Ces fauteuils constituent une véritable révolution pour aider les personnes handicapées à vivre en toute indépendance au quotidien.

1.2.3.1. Description d'un fauteuil roulant électrique monte escalier

Ce fauteuil permet à l'utilisateur de franchir des escaliers de façon autonome, sans l'assistance d'une tierce personne. Le franchissement des marches se fait à l'aide de deux chenilles. La montée est effectuée en marche arrière et la descente en marche avant. Voici un exemple de fauteuil tout-terrain TOPCHAIR au figure 11. Le fauteuil roulant électrique TOPCHAIR est doté de deux modes de déplacement : un mode "route" et un mode "escalier". En mode "route", il vous

offre la possibilité de vous déplacer à l'extérieur, au domicile, en ville ou à la campagne en toute autonomie. En mode "escalier", il prend en charge automatiquement le contrôle des roues et des chenilles et simplifie les manipulations de l'utilisateur [19]. Il est alors possible de franchir tous les obstacles : les pas de portes, les trottoirs et de monter les escaliers en toute sécurité.



Figure 11: Le fauteuil roulant électrique monte escalier-TOPCHAIR [19].

1.2.3.2. Différents types de fauteuil roulant électrique monte escalier

On en distingue deux ; systèmes à chenillettes et système à roues.

A. Avec les roues :

Fauteuil grand modèle ayant une autonomie de 20 à 30 km, une vitesse pouvant atteindre 25 km/h et des roues plus épaisses et gonflables pour faciliter le déplacement à l'extérieur [10].



Figure 12: Le fauteuil roulant électrique monte escalier avec les roues [10].

Il a les avantages et les inconvénients suivants :

↳ **Les avantages :**

- Pour les charges jusqu'à 150 kg
- Pour hauteurs de marches jusqu'à 22 cm
- Deux vitesses de montée

↳ **Les inconvénients :**

- Faible puissance
- Une petite durée de vie
- Ne marche pas dans la neige et le sable.

B. Avec les chenillettes :

Grâce aux chenilles, tous les escaliers droits peuvent être franchis, quel que soit leur matériau et même s'ils ne disposent pas de contremarche. Les sols mouillés ne sont pas un frein non plus. Les chenilles se déplient automatiquement quand un obstacle est détecté. Franchissement de marches jusqu'à 20 cm de hauteur et la pente maximale jusqu'à 33° (65%) [20].



Figure 13: Fauteuil roulant électrique monte escalier avec les chenillettes [10].

Il a les avantages et les inconvénients suivants :

☞ **Les avantages :**

- Le maintien du siège et de de l'assise à l'horizontale quelle que soit la pente de l'obstacle à franchir.
- La sécurité est de mise avec ceinture de sécurité, capteurs, système de freinage...
- Marche dans tous les endroits (montagne, neige, sable, ...)

☞ **Les inconvénients :**

- Une petite durée de vie pour les chenillettes .
- L'impossibilité de franchir des escaliers tournants.

NB : Le principal inconvénient est le fait que peu de modèles existent pour le moment sur le marché. Ce qui s'accompagne de prix élevés, souvent considérés comme inabordables [20].

1.2.4. Fauteuils roulants intelligents

Les besoins en termes de mobilité des personnes handicapés moteurs peuvent être généralement satisfaits par l'utilisation des fauteuils roulants manuels ou électriques. Ils leur offrent une mobilité et leur ouvrent des perspectives sur des plans professionnels et éducatifs favorisant ainsi leur sentiment d'indépendance [21]. La mobilité réduite des personnes est en effet la principale cause de limitation de leur insertion sociale, professionnelle et de leurs activités de la vie quotidienne. Ceci peut conduire à l'anxiété et à la dépression. Des études statistiques ont démontré que 31% des personnes à mobilité réduite sont fréquemment déprimées ou anxieuses, contre 4% chez les personnes sans mobilité réduite [22].

L'utilisation des fauteuils roulants (manuels ou électriques) est donc très bénéfique pour les personnes à mobilité réduite. Malheureusement elle est parfois difficile ou impossible pour des personnes lourdement handicapées. Grâce aux technologies développées dans le domaine de la robotique mobile, plusieurs groupes de recherche ont développé des fauteuils roulants "intelligents". Les fauteuils roulants intelligents ont vu le jour au début des années 1980, et continuent aujourd'hui à être l'objet d'attention des chercheurs [23].



Figure 14: Fauteuil roulant électrique intelligent [23].

Les fauteuils roulants manuels ou électriques sont généralement utilisés pour répondre aux besoins de déplacement des personnes à mobilité réduite. Ils leur offrent une mobilité et élargissent leurs horizons mais le rôle primordial des fauteuils roulants électriques intelligents est de fournir une assistance à la mobilité à partir d'une cognition de l'environnement. Les améliorations des fauteuils roulants électriques intelligents sont souvent liées aux progrès de l'accessibilité de la technologie. Un fauteuil roulant électrique intelligent doit disposer d'un ensemble de capteurs lui permettant d'analyser l'environnement, ainsi que de mesurer son propre état, On distingue dans le tableau 1 l'ensemble des capteurs en la matière, les capteurs proprioceptifs et les capteurs extéroceptifs [23] :

Tableau 1: Quelques capteurs d'un fauteuil roulant électrique intelligent et leurs rôles [23].

Capteur		Rôle
Capteur proprioceptif	Codeur optique	Calculer la vitesse angulaire des roues du fauteuil. Estimer la trajectoire du fauteuil lors de ses déplacements.
Capteurs extéroceptifs	Capteur de contact	Permettre de fournir une information tout ou rien lors d'un contact avec l'environnement et permettent de détecter une collision.
	Télémètre infrarouge	Mesurer les distances entre les éléments de l'environnement et le capteur.
	Télémètre ultrason	
	Télémètre laser	
Capteur Vidéo (Caméra)	Fournir une image de l'environnement très proche de celle que perçoit l'homme et qui contient un très grand nombre d'informations	

1.2.4.1. Les prototypes VAHM

Le projet VAHM (Véhicule Autonome pour personnes Handicapées Moteurs) est un projet de développement de fauteuil intelligent au sein du laboratoire d'automatique humaine et de sciences comportementales (L.A.S.C) de l'université Paul Verlaine de Metz. L'objectif est de fournir différents types d'assistance à la conduite pour des personnes ayant des difficultés à conduire à l'aide de commandes traditionnelles [24].

La conception de VAHM a évolué avec trois modèles de fauteuils pour l'objectif de réaliser des mouvements autonomes ou semi-autonomes en fonction d'informations provenant de capteurs extéroceptifs et proprioceptifs ainsi que du pilote du fauteuil via une interface humain-machine adaptée [25].

Le premier prototype, VAHM-1 voir Figure 15, est un robot mobile « Robuter » équipé d'un siège et d'une perception réalisée à partir de la fusion de données issues de capteurs ultrasons associés à deux codeurs odométriques. Cette version de projet VAHM conçue à partir d'une base mobile a les mêmes dimensions que celles d'un fauteuil roulant électrique standard. Cette base contient un micro-ordinateur portable et une chaise pour personne handicapée.



Figure 15: Robot VAHM-1 [23].

Le second prototype, VAHM-2 voir Figure 16, qui comprenait le projet VAHM visé à l'amélioration d'un FRE commercial à traction. La société suisse Power Pusha a essayé de piloter l'utilisation d'une commande électronique qui s'appelle le système DX développé par la société Control Dynamics Ltd. Le système DX a presque les mêmes propriétés de bus CAN et il se compose de deux modules [21]:

- Le module principal inclut le joystick, les différents boutons de commande, les boutons d'activation d'options, ainsi que les indicateurs d'erreurs et de niveau de la batterie.
- Le module de puissance convertit les signaux de commande provenant du module principal en signaux de puissance permettant l'activation des moteurs.

Le bus système étant de type CAN, seulement quatre fils sont nécessaires : deux pour l'alimentation et deux pour les signaux de commande. Enfin ce fauteuil est équipé de seize capteurs ultrasonores répartis autour du véhicule et d'un écran LCD permettant de réaliser une interface graphique entre l'utilisateur et le système.



Figure 16: Robot VAHM-2 [26].

Enfin, le troisième prototype, **VAHM-3** voir Figure 17, est basé sur le fauteuil à propulsion Invacare Storm III, il est équipé de codeurs odométriques, des capteurs ultrasons, d'une caméra et d'un ordinateur embarqué. Son électronique de commande est identique à celle du VAHM2.



Figure 17: Robot VAHM-3 [23].

1.2.4.2. Les types de commande d'un Fauteuil roulant électrique intelligent

Le choix de la communication homme machine est primitif pour un système interagissant avec l'homme. Et encore plus pour les personnes paraplégiques, elle doit être adaptée à la personne et doit fournir du côté utilisateur toutes les indications lui permettant de choisir l'action souhaitée. L'étalements du côté machine est censée fournir toutes les informations nécessaires à l'exécution

de la tâche demandée. Sa conception dépend essentiellement de la nature des fonctionnalités proposées (leur rôle et leur degré d'autonomie) [24].

0. Commande par joysticks :

L'organe de commande le plus utilisé est le joystick. L'avantage de ce type de commande est la manière intuitive dont on l'utilise. Cependant, il nécessite une certaine dextérité et un contrôle continu, ce qui le rend difficilement utilisable aux personnes atteintes de certains types de déficiences lourdes.



Figure 18: Joystick boule de pilotage [27].

1. Commandes de type tout-ou-rien :

Ce type de commande est utilisé dans le cas où l'utilisateur ne peut pas utiliser un joystick. Pour cette commande, il existe plusieurs types par exemple une commande occipitale (par contact sans pression au niveau de la tête).



Figure 19: La commande occipitale Dual Pro [28].

En tant que commande à contacteurs sensitifs ; le fauteuil réagit en fonction de la distance entre la tête et le capteur. Cette configuration ne requiert aucune force de poussée, destinée à des personnes avec une faible amplitude de mouvements [28].

2. Commandes basées sur l'analyse de la gestuelle ou de regard :

Ces types de commande sont basées sur l'analyse de l'utilisateur. A partir d'un traitement de l'image, les orientations du visage et du regard de l'utilisateur sont extraites, puis utilisées afin de déterminer la direction que suivra le fauteuil.

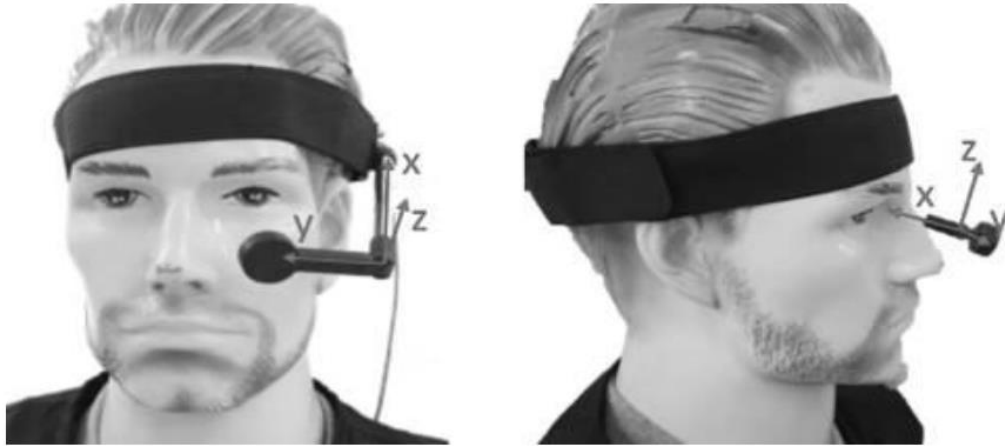


Figure 20: Système de suivi oculaire [29].

La commande est déterminée à partir des deux règles suivantes : Quand on désire tourner vers un endroit, on regarde l'endroit avant d'y aller, et plus on regarde loin, plus on désire aller vite [29].

3. Commandes par reconnaissance vocale :

La voix de l'utilisateur est enregistrée par microphone, puis traitée à l'aide d'un système de reconnaissance vocale afin d'extraire un ensemble d'ordres élémentaires comme : avance, stop, tourne, vite, doucement... Les mouvements élémentaires sont complétés par une fonctionnalité d'évitement d'obstacle [29].

4. Commandes par la langue :

Dans ce type de commande l'utilisateur porte un casque équipé de capteurs magnétiques ainsi qu'un aimant situé sur sa langue, ce qui permet d'obtenir la position de la langue par rapport à sa position au repos.

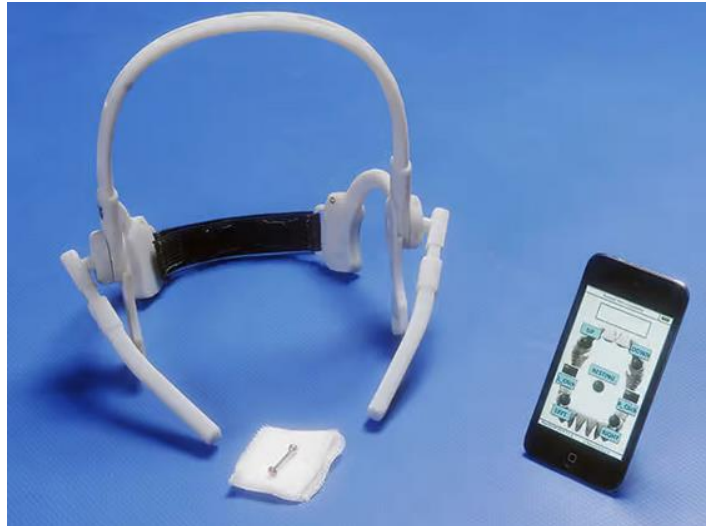


Figure 21: Dispositif de commande par la langue [30].

L'ensemble du dispositif est composé par un casque, un aimant accroché à un piercing et un smartphone. Lorsque la personne bouge la langue, le mouvement est détecté par le casque qui envoie cette information au smartphone. Ce dernier dirige alors le fauteuil roulant. Cette technologie peut également être utilisée pour remplacer la souris d'un ordinateur [30].

5. Commandes basées sur l'analyse des signaux physiologiques

Ces commandes sont basées sur l'acquisition et l'analyse des signaux physiologiques de type EOG (Electro-Oculogramme), EMG (Electromyogramme) ou EEG (l'électro-encelogramme) [23]. Par exemple, la commande basée sur l'utilisation des signaux EEG qui mesure l'activité électrique du cerveau grâce à des électrodes placées sur le cuir chevelu.



Figure 22: Interface Cerveau Machine (BCI) pour la 3D [29].

1.2.4.3. Choix de la commande et des capteurs

Pour réaliser notre système, nous avons fait recours aux capteurs et à la commande du FREI suivants :

0. La commande par joystick :

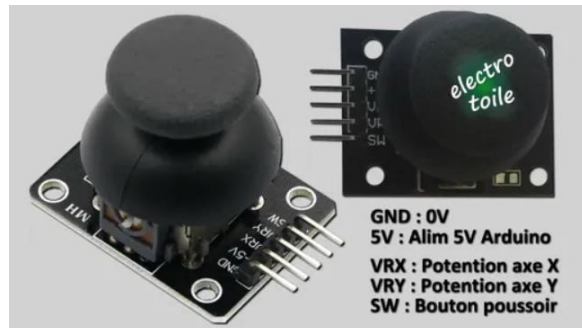


Figure 23: Joystick [31].

Un joystick est un capteur de position qui renvoie deux valeurs analogiques représentant sa position X, Y. Il peut servir d'interface pour naviguer dans un menu ou bien pour piloter un objet en direction ou en vitesse [31].

Le joystick a été choisi dans le cadre de ce travail étant donné sa facilité d'intégrer dans un système et la possibilité de pilotage qu'elle offre.

1. Capteur pour la détection de distance :

Pour mesurer des distances, il faut un capteur de distance. Il existe sur le marché un grand nombre de capteurs de distance : infrarouge (réflectif), laser (par temps de parcours ou par calcul d'angle), physique (règles optiques absolues ou incrémentielles), ou ultrason [32].

- Les capteurs infrarouges ont l'avantage d'être bon marché, relativement précis. Malheureusement, ils sont très sensibles à la lumière ambiante et au coefficient de réflexion lumineuse de la surface en face du capteur.
- Les (vrais) capteurs de distance laser sont extrêmement précis, mais aussi extrêmement chers. Un capteur de distance laser (par mesure de temps de parcours) coûte facilement plus de 200€, mais effectue des mesures à plus de 30 mètres sans problème pour certains modèles. C'est donc au final une question de budget / utilisation.
- Les capteurs physiques, le plus souvent un duo comportant une règle graduée et un capteur optique, sont à la fois bon marché et très précis. Mais ils sont très limités en distance mesurable et se retrouvent donc généralement dans des imprimantes.

- Un capteur de distance à ultrason utilise le même principe qu'un capteur laser, mais en utilisant des ondes sonores (inaudible) au lieu d'un faisceau de lumière. Ils sont bien moins chers qu'un capteur laser, mais aussi bien moins précis. Cependant, contrairement aux capteurs à infrarouge, la lumière ambiante et l'opacité de la surface en face du capteur ne jouent pas sur la mesure.

Le choix a été porté sur le capteur HC-SR04 pour la détection de la distance étant son faible coût ainsi que sa disponibilité sur le marché local.



Figure 24: Capteur de distance ultrason HC-SR04 [33].

Le HC-SR04 est un capteur à ultrason low cost, qui fonctionne avec une tension d'alimentation de 5 volts, qui dispose d'un angle de mesure de 15° environ et qui permet de faire des mesures de distance entre 2 centimètres et 4 mètres avec une précision de 3mm (en théorie, dans la pratique ce n'est pas tout à fait exact) [33].

1.2.4.4. Critères de classification des FREI

De nombreux prototypes de fauteuils intelligents ont été décrits dans la littérature. Nous pouvons les distinguer selon les critères suivants [21] :

- La structure mécanique
- Les interfaces de commande
- Les Capteurs
- La Commande
- Les modes opératoires
- Les balises et les cartes internes de l'environnement

1.2.4.5. Liste des fauteuils intelligents

Tableau 2 : Quelques projets de fauteuils roulants intelligents [21].

FRE intelligent et Date de publication	Description
Autonomous Wheelchair, Arizona state university, USA 1986	C'est un fauteuil à navigation autonome. Il est doté de capteurs ultrasons qui lui permettent de naviguer dans des environnements encombrés. Pour la navigation, il utilise un langage topologique simple. Il peut transporter la personne en ayant pour seule information le numéro de la chambre de destination ; il utilise une caméra pour l'identification des balises définissant la trajectoire.
Automated Guided wheelchair, NEC cooperation , Japan 1992	Il est guidé automatiquement grâce à des marqueurs magnétiques placés sur le sol. Il utilise des capteurs infrarouges pour la détection des obstacles.
COACH, CEA, France 1993	Un fauteuil roulant intelligent conçu pour la navigation dans des environnements dynamiques. Il est équipé de capteurs infrarouges et ultrasonores.
Krovoy and Wellman GRASP Laboratory, University of Pennsylvania, USA 1994	C'est un fauteuil hybride qui est équipé de deux pieds en plus des quatre roues ordinaires. Les pieds permettent au fauteuil de monter les escaliers et de se déplacer sur des terrains difficiles.
Rhombus MIT, USA 1997	Rhombus (Reconfigurable Holonomic Omnidirectional Mobile Bed with Unified Seating) est un fauteuil roulant intelligent qui utilise un pilotage omnidirectionnel.
FRIEND, University of Bremen, Allemagne 2001	C'est un fauteuil roulant électrique équipé d'un bras de robot à six degrés de liberté. Le fauteuil et son bras sont commandés par un ordinateur placé à bord. Un écran plat et un système de reconnaissance vocale (ViaVoice de IBM) sont utilisés comme interface pour l'utilisateur. La détection des obstacles lors de la navigation se fait à l'aide d'un système de stéréo vision. Le bras manipulateur peut être commandé vocalement, ou en désignant un objet capté par la caméra. C'est ainsi qu'il va effectuer la prise automatique de cet objet.
Argyro's Wheelchair, Institute of Computer Science, Crète, Grèce 2002	Il est conçu à partir d'un fauteuil MEYRA. Il permet l'évitement d'obstacles. Il est équipé de capteurs ultrasons et d'une caméra omnidirectionnelle. Cette dernière peut être utilisée pour la poursuite d'une cible.

<p>Collaborative Wheelchair Assistant (fauteuil manuel), National University of Singapore, Singapore. 2002</p>	<p>Un fauteuil roulant manuel équipé d'une motorisation et d'un ordinateur de bord. Il suit des trajectoires prédéfinies grâce à un plan interne, l'utilisateur a la possibilité de changer cette trajectoire ou d'arrêter le fauteuil à n'importe quel moment. C'est lui aussi qui commande la vitesse de déplacement.</p>
<p>Intelligent Wheelchair System, Osaka University, Japon 1998 – 2003</p>	<p>Il possède deux caméras, l'une placée face à l'utilisateur et l'autre vers l'avant. L'utilisateur commande le système avec des gestes de la tête, qui sont filmés par la caméra située en face de lui, puis ils sont interprétés par le système. La deuxième caméra est utilisée pour la commande du fauteuil quand l'utilisateur n'est pas dessus. Il utilise la commande partagée pour pouvoir introduire l'évitement d'obstacles. L'exécution des commandes données par l'utilisateur varie en fonction de l'entourage du fauteuil. Une carte interne de l'environnement est utilisée dans un premier temps pour adapter la navigation. De plus, il utilise des capteurs ultrasons pour la détection des obstacles imprévus. Il permet la poursuite des cibles. Lorsque l'utilisateur regarde vers l'avant pendant un court moment, la deuxième caméra identifie le chemin et le fauteuil le suit. Cette caméra contribue aussi à l'évitement des obstacles. Elle identifie le champ de vision de l'utilisateur et dévie le fauteuil pour l'évitement d'obstacles. La nouvelle version de ce fauteuil utilise des capteurs infrarouges à la place des capteurs à ultrasons, ce qui permet d'exécuter la tâche de poursuite des personnes. Le fauteuil utilise plusieurs modes opératoires (suivi de mur, évitement d'obstacles...) et peut passer automatiquement d'un mode à l'autre.</p>

1.3. Conclusion partielle :

Dans ce premier chapitre, nous venons de faire un panorama synthétique sur les fauteuils roulants. Nous possédons une vision claire sur ces derniers et nous pouvons dire que les fauteuils roulants apparaissent comme une alternative à moyen ou long terme depuis l'antiquité pour soulager les paraplégiques.

Ensuite, nous avons décrit l'évolution de réalisation des recherches sur l'automatisme et sur l'intelligence du fauteuil (prototype VAHM) étant comme projet de développement de fauteuil intelligent au sein du laboratoire à l'université Paul Verlaine de Metz. Nous y avons aussi joint

quelques types de commande d'un FREI, dont le choix de la communication homme-machine est la première de chose à faire pour un système interagissant avec l'homme. On a choisi le joystick comme système de commande homme-machine et le capteur d'ultrasons HC-SR04 pour la détection de distance avec comme objectif de fournir une assistance à la mobilité à partir de sa perception de l'environnement.

Ce qui précède nous a finalement conduit à distinguer le FREI selon certains critères. Nous avons terminé par la présentation de quelques projets de FREI, ces projets ont conduit chacun à un type de modèle de FREI qui s'avère être le plus adapté à la résolution d'un problème mais malgré le grand nombre de recherches et de réalisations effectuées, très peu de prototypes sont commercialisés et donc non accessibles à tous. La première raison est sans doute technique suite la non fiabilité des solutions proposées dû à des imperfections des capteurs. Une seconde raison est sans doute la difficulté d'appliquer une procédure de conception et d'évaluation impliquant pleinement l'utilisateur final, tel qu'il est recommandé pour toute conception d'aide technique en Ingénierie des idées, en abordant le problème comme novice, en se focalisant sur les besoins des utilisateurs [34].

CHAPITRE 2 : ANALYSE FONCTIONNELLE DU VELO POUR HANDICAPÉ

2.1. Introduction partielle

Dans ce chapitre nous faisons une analyse fonctionnelle du vélo pour handicapé avec une représentation d'un point de vue matériel par une analogie entre le fauteuil roulant et le robot Mbot. Après nous présentons le modèle cinématique du fauteuil VAHM semblable à un robot à deux roues motrices. Ce modèle va analyser un environnement 2D d'un fauteuil roulant en se basant sur le modèle VAHM (Véhicule Autonome pour Handicapé Moteur) qui peut être défini par l'utilisation des équations mathématiques. Nous montrons les différentes directions du fauteuil selon les vitesses des deux roues motrices gauche et droite, pour ensuite faire le calcul de la puissance partant du mouvement longitudinal du fauteuil. Après cela, nous parcourons divers choix sur des types de transmission envisageables.

2.2. Analogie entre le Fauteuil roulant et le robot mBot

Le robot mBot est un robot modulaire équipé d'une matrice d'affichage à LED et programmable avec les environnements de programmation par blocs mBlock et Makeblock App. Il est conçu pour l'apprentissage progressif de la programmation et de la robotique. Il est capable de détecter des obstacles, suivre une ligne, émettre des sons et des signaux lumineux, recevoir des ordres d'une télécommande ou communiquer par un canal infrarouge avec un autre robot [35]. Le mBot comporte deux roues fixes non orientables commandées indépendamment comme le montre la figure 25. Une ou plusieurs roues folles sont ajoutées à l'avant ou à l'arrière de la structure (ça dépend du type de fauteuil comme nous l'avons montré dans le chapitre premier) pour assurer sa stabilité. Pour bien appréhender ce problème nous allons faire une analogie entre le fauteuil roulant et le robot mBot.

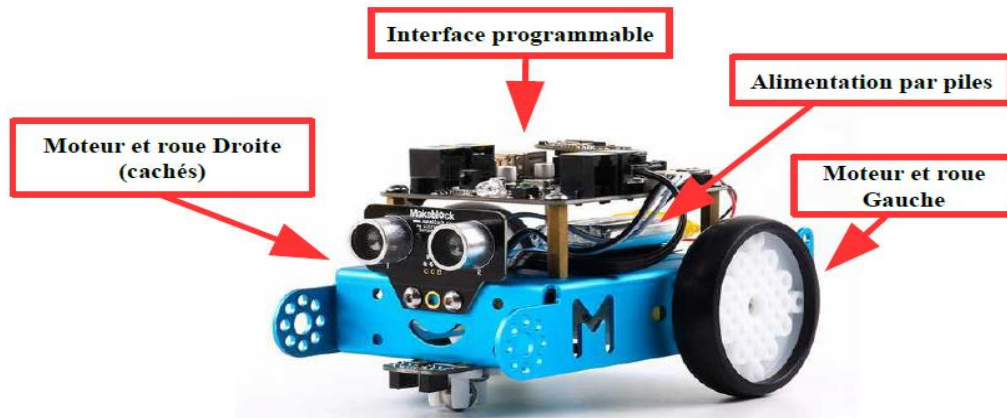


Figure 25: Robot mBot [36].

2.2.1. Comment fonctionne le robot mBot

Le robot mBot comporte un moteur gauche et un moteur droit. Il est alimenté par des piles et une interface de commande qui permet de le programmer (logiciel mBlock). Le robot mBot interagit avec son environnement en fonction du programme qu'on lui implante. Pour cela, il est capable de collecter des informations grâce à ses capteurs et de réaliser des actions grâce à ses actionneurs. Pour interagir avec son environnement et y recueillir des informations, on retrouve sur le robot : un module Bluetooth qui permet de recevoir les ordres émis par un téléphone, tablette..., un module de suivi de ligne au sol et un module à ultrasons qui lui permet de « voir » les obstacles à l'avant et d'en connaître la distance [37].

2.2.1.1. Différents types de capteurs du robot Mbot :

- **Capteur logique** : c'est un capteur à signal qui prend 2 états, l'état haut et l'état bas soit 0 (éteint) soit 1 (allumé). Par exemple : Bouton poussoir, interrupteur, ...

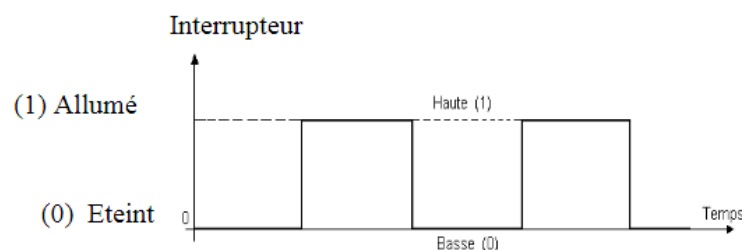


Figure 26: Signal logique [37].

- **Capteur analogique** : c'est un capteur à signal qui prend une infinité de valeurs. Par exemple : Sonde de température, son, etc.

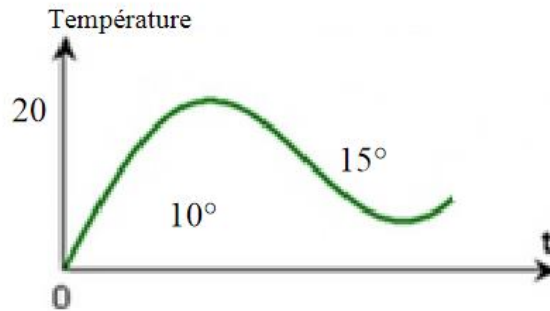


Figure 27: Signal analogique [37].

Pour le signal analogique d'une sonde de température illustré par la figure 27, le capteur détecte toutes les valeurs de 0 à 20 °C.

2.3. Modélisation cinématique d'un fauteuil roulant

On peut faire la modélisation d'un fauteuil roulant dans deux domaines, continu et échantillonné. Mais ce dernier ne fait pas partie de notre objet d'étude. Il vise la variation de la configuration du fauteuil entre deux instants d'échantillonnage pour un seul but de déterminer la distance parcouru S_k des roues motrices gauche et droite et l'axe de l'angle $\Delta\theta_k$ qu'ont tournées les roues entre les instants kT_e et $(k + 1) T_e$ [23]

2.3.1. Modèle cinématique continu

Dans le cas général, l'état cinématique d'un objet non déformable (c'est le même cas de notre petit robot) est entièrement déterminé par les trois coordonnées de son centre de gravité et de trois angles qu'on appelle respectivement *lacet*, *roulis* et *tangage*, selon le principe de l'odométrie [38]. Supposons que le fauteuil se déplace sur des surfaces planes et horizontales : les mouvements du fauteuil sont donc limités à des translations dans le plan (O_0, X_0, Y_0) et des rotations autour de son axe de rotation (O_1, Z_1) comme montré sur la figure 28.

Le rôle principal du modèle cinématique de configuration « descriptif » est de décrire le mouvement sans se préoccuper des causes physiques qui l'ont engendré. Le type de modèle est souvent suffisant lorsque le fauteuil se déplace avec des petites vitesses où on peut négliger la dynamique du fauteuil [23]. Dans cette partie nous allons développer un modèle d'un fauteuil qui est valable pour VAHM. Il s'agit d'un modèle qui lie les configurations (position du centre de gravité $[x(t), y(t)]^T$ et orientation du fauteuil $\theta(t)$) successives du système.

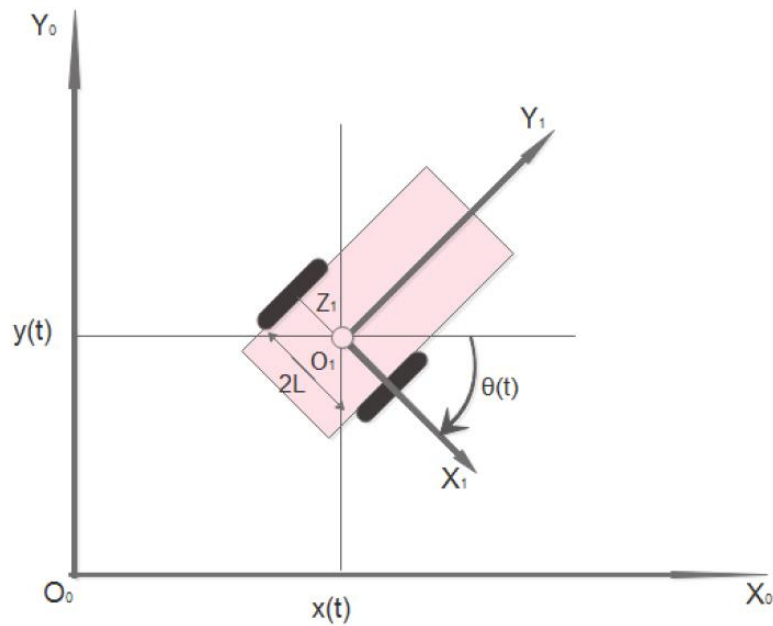


Figure 28: Configuration q d'un fauteuil roulant : $q = [x(t), y(t), \theta(t)]^T$ [23].

Le fauteuil possède deux roues motrices de mêmes rayons $R_d = R_g = R$. La distance entre les deux roues est notée $2L$. Le fauteuil change de direction grâce à leurs mouvements différentiels. Son modèle cinématique est similaire à celui d'un robot mobile à deux roues motrices indépendantes.

En partant d'une position initiale connue et en intégrant les déplacements mesurés, on peut ainsi calculer à chaque instant la position courante du fauteuil. La configuration q du robot à l'instant t est donnée par $q = [x(t), y(t), \theta(t)]^T$ et pour chaque roue motrice on définit son angle de rotation instantané : $\alpha_g(t)$ et $\alpha_d(t)$ [rad]. Nous allons définir $\alpha_g(t)$ et $\alpha_d(t)$ de telle sorte qu'ils soient positifs lorsque la rotation de la roue induit un déplacement du fauteuil vers l'avant.

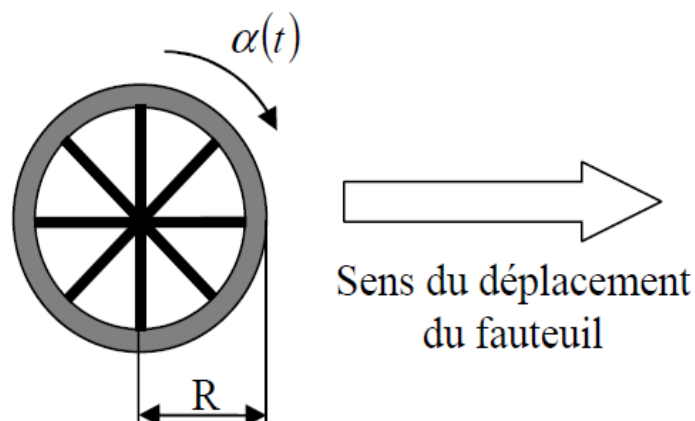


Figure 29: Convention de signe pour l'angle de rotation d'une roue motrice [21].

2.3.1.1. La vitesse angulaire

La vitesse angulaire instantanée de chaque roue $\omega_g(t)$ et $\omega_d(t)$ sont données par les relations suivantes :

$$\omega_d(t) = \frac{d\alpha_d(t)}{dt} \quad (1)$$

$$\omega_g(t) = \frac{d\alpha_g(t)}{dt} \quad (2)$$

Avec :

- α_d : Angle de rotation instantané de la roue droite
- α_g : Angle de rotation instantané angulaire de la roue gauche

2.3.1.2. La vitesse linéaire

Les vitesses linéaires des roues gauche et droite ; respectivement notées $V_g(t)$ et $V_d(t)$ vérifient :

$$V_g(t) = R \cdot \omega_g(t) \quad (3)$$

$$V_d(t) = R \cdot \omega_d(t) \quad (4)$$

Avec son rayon R :

- $R_d = R_g = R$: [m] rayon de la roue motrice droite et rayon de la roue motrice gauche

La vitesse linéaire de fauteuil V sans glissement est donnée par la relation suivante :

$$V = \frac{V_g + V_d}{2} \quad (4)$$

La vitesse de rotation du fauteuil W est donnée par la relation suivante :

$$W = \frac{V_d - V_g}{2L} \quad (5)$$

Les angles de rotation instantanée de chaque roue motrice $\alpha_g(t)$ et $\alpha_d(t)$ sont déterminés à partir de leurs vitesses angulaires $\omega_d(t)$ et $\omega_g(t)$ ou de leurs vitesses linéaires $V_g(t)$ et $V_d(t)$:

$$d\alpha_d(t) = \omega_d(t) \cdot dt = \frac{V_d(t) \cdot dt}{R} \quad (6)$$

$$d\alpha_g(t) = \omega_g(t) \cdot dt = \frac{V_g(t) \cdot dt}{R} \quad (7)$$

Nous allons nous intéresser au mouvement décrit par le fauteuil entre deux postures successives. Soit Delta $\alpha_d(t)$ et $\alpha_g(t)$ les variations instantanées des angles de rotation des roues gauche et droite respectivement, correspondant au passage d'une posture à une autre.

2.3.1.3. Le modèle cinématique

En visualisant les paramètres sur la figure 28, le modèle cinématique du robot différentiel est donnée par les équations suivantes [23] :

$$\begin{cases} \dot{\theta}(t) = w(t) = \frac{R}{2L}(V_d - V_g) \\ \dot{X}(t) = V \cdot \cos(\theta(t)) = \frac{R}{2}(V_d + V_g) \cdot \cos(\theta(t)) \\ \dot{Y}(t) = V \cdot \sin(\theta(t)) = \frac{R}{2}(V_d + V_g) \cdot \sin(\theta(t)) \end{cases} \quad (8)$$

Ces équations relient la dérivée de la position (x, y, θ) du fauteuil à la commande $u = [V_d, V_g]^T$, avec θ rotation instantanée du fauteuil par rapport au repère (O_0, X_0, Y_0) . De ce fait la position du fauteuil est donnée par :

$$\begin{cases} \theta(t) = \theta(0) + \frac{1}{2L} \int_0^t (W(\tau)) d\tau \\ X(t) = x(0) + \frac{1}{2} \int_0^t V(\tau) \cdot \cos(\theta(\tau)) d\tau \\ Y(t) = y(0) + \frac{1}{2} \int_0^t V(\tau) \cdot \sin(\theta(\tau)) d\tau \end{cases} \quad (9)$$

Ce modèle peut être écrit dans le domaine continu par le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \theta(t) = \theta(0) + \frac{1}{2L} \int_0^t (V_d(\tau) - V_g(\tau)) d\tau \\ X(t) = x(0) + \frac{1}{2} \int_0^t (V_d(\tau) + V_g(\tau)) \cdot \cos(\theta(\tau)) d\tau \\ Y(t) = y(0) + \frac{1}{2} \int_0^t (V_d(\tau) + V_g(\tau)) \cdot \sin(\theta(\tau)) d\tau \end{cases} \quad (10)$$

2.3.1.4. Simulation dans Simulink

Le figure 30 ci-dessous représente le schéma Simulink du système d'équation (10) en considérant $L = 1$:

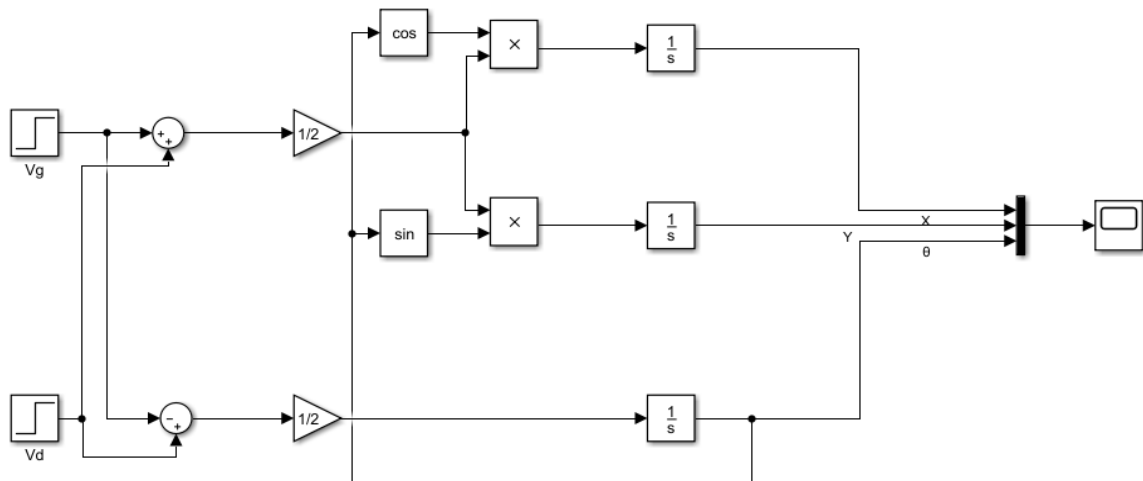


Figure 30: Model Simulink du robot différentiel.

Les résultats obtenus pour la commande des vitesses des deux roues gauche et droite :

❖ **Premier test:** $V_d = V_g = 20 \text{ m/s}$.

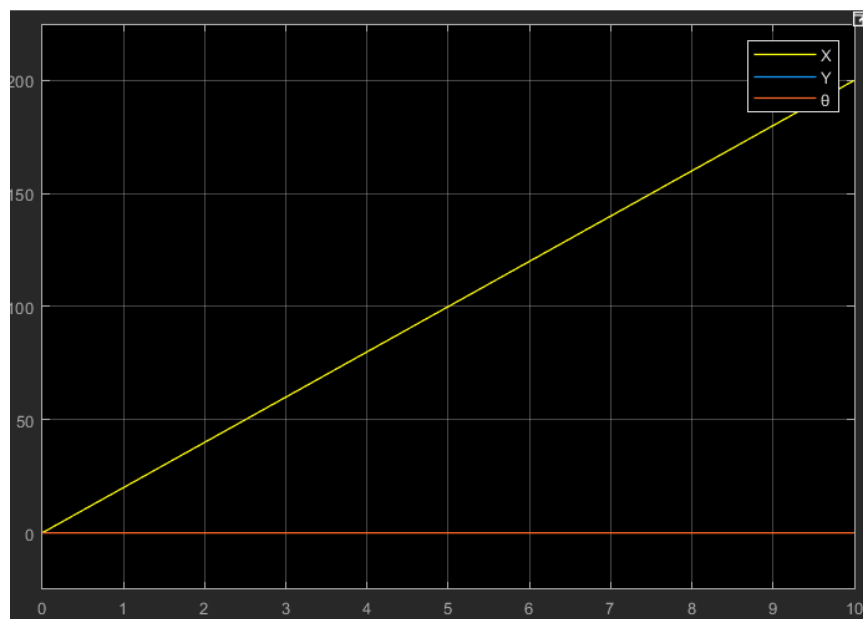


Figure 31: Résultat scope premier test.

On remarque que lorsque les deux vitesses sont égales, les valeurs de θ et y sont nulles donc $\theta \equiv y = 0$, et la valeur de x est positive (croissante).

❖ **Deuxième test :** $V_d = 20 \text{ m/s}$ et $V_g = 15 \text{ m/s}$.

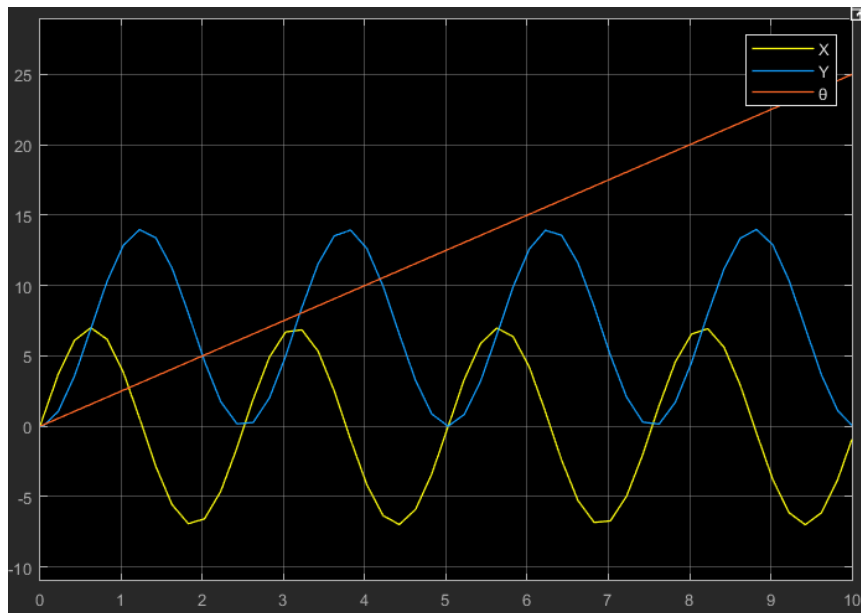


Figure 32: Résultat scope deuxième test.

On remarque que lorsque la vitesse de la roue droite est supérieure à celle de la roue gauche, la valeur de θ est positive, et les valeurs de x et y sont de forme sinusoïdale .

❖ **Troisième test :** $V_d = 15 \text{ m/s}$ et $V_g = 20 \text{ m/s}$.

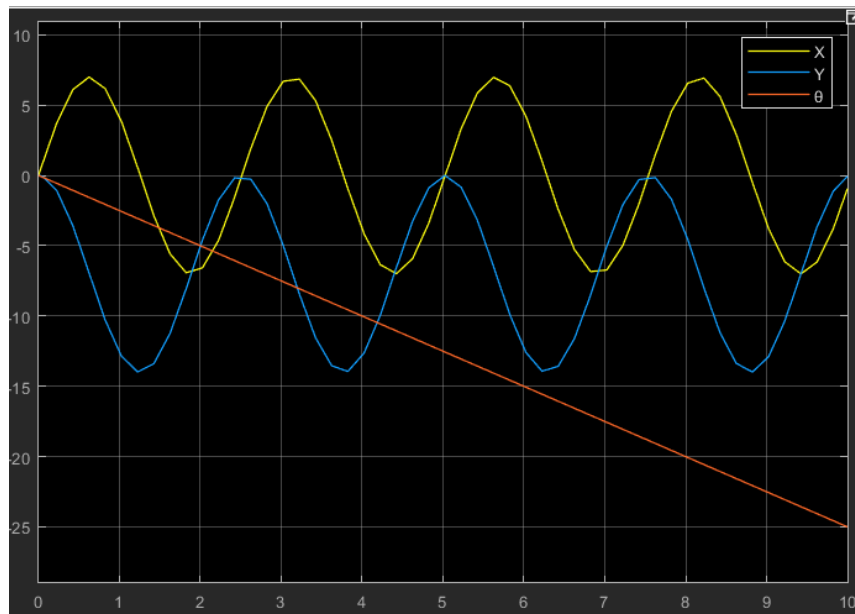


Figure 33: Résultat scope troisième test.

On remarque que lorsque la vitesse de la roue gauche est supérieure à celle de la roue droite, la valeur de θ est négative, et les valeurs de x et y sont de forme sinusoïdale .

❖ **Quatrième test :** $V_d = V_g = 0 \text{ m/s}$.

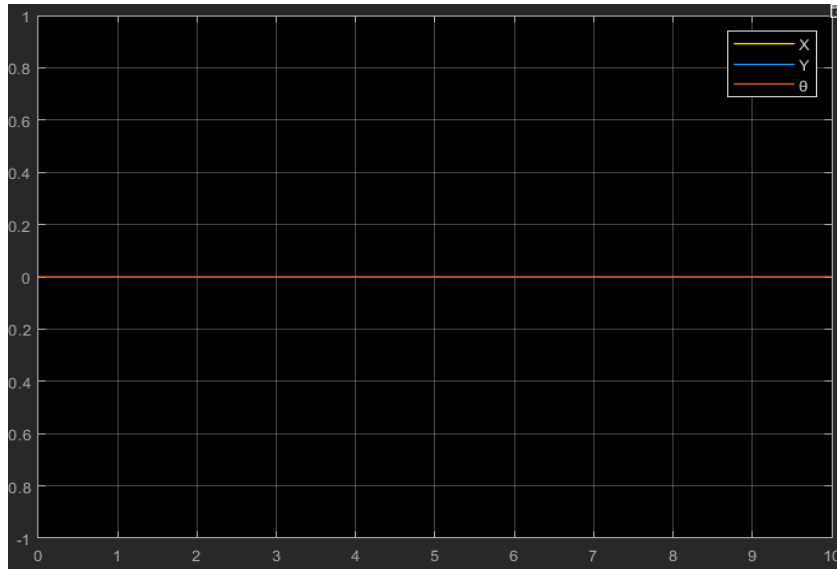


Figure 34: Résultat scope quatrième test.

On remarque que lorsque les vitesses des deux roues gauche et droite sont nulles, les valeurs de θ et x et y sont nulles donc $x \equiv \theta \equiv y = 0$.

❖ Discussion :

De l'observation des simulations associées aux résultats des figures précédentes, nous pouvons tout d'abord déduire quelques considérations qualitatives relatives aux paramètres « distance » et « temps ». Après les tests, nous pouvons dire que la trajectoire d'un fauteuil roulant est en relation directe avec le signe et la valeur de la tension appliquées sur les deux roues motrices.

Alors d'une manière définitive, on conclut que le comportement d'un vélo pour handicapé peut être contrôlé à travers les variables d'état de son modèle cinématique, ou à partir des commandes introduites dans notre expérience (vitesse des roues gauche et droite). Alors à partir des vitesses angulaires des deux roues, on peut extraire plus de six mouvements pour notre vélo. Le tableau 3 montre les six mouvements principaux (mouvement vers l'avant, l'arrière, virage à gauche ou à droite, rotation sur place et stop) :

Tableau 3: Les mouvements du fauteuil et leurs commandes.

Vitesses angulaire gauche et droite	Mouvement
$V_d = V_g > 0$	Mouvement avant
$V_d = V_g < 0$	Mouvement arrière
$V_d = 0$ et $V_g > 0$	Tourner sur soi (vers la droite)
$V_d > 0$ et $V_g = 0$	Tourner sur soi (vers la gauche)
$V_d > V_g > 0$	Tourner vers la gauche
$V_g > V_d > 0$	Tourner vers la droite

2.4. Calcul de la puissance

2.4.1. Mouvement longitudinal

Considérons la surface qui supporte le fauteuil de masse m est un plan incliné, alors les forces agissant sur le corps sont celles représentées sur la figure 35 suivante.

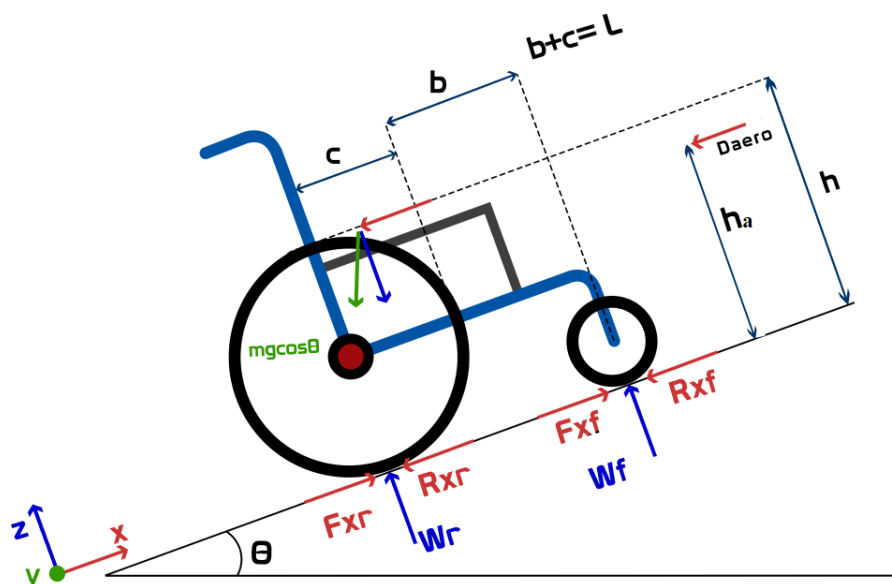


Figure 35: Mouvement longitudinal.

Nous avons le système suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = m \cdot a_x \\ \sum F_z = 0 \\ \sum M_z = 0 \end{array} \right.$$

À l'équilibre :

Par rapport à x :

$$m \cdot a_x = F_{xf} + F_{xr} - R_{xr} - R_{xf} - m \cdot g \sin \theta - D_{aero} \quad (11)$$

Avec :

- F_{xf} : Force de retenue sur la roue folle
- F_{xr} : Force de retenue sur la grande roue
- R_{xf} : Force de répulsion sur la roue folle
- R_{xr} : Force de répulsion sur la grande roue
- D_{aero} : Force de trainée ou force aérodynamique

Par rapport à z :

$$0 = m \cdot g \cos \theta - W_f - W_r \quad (12)$$

Avec :

- W_f : Force de résistance agissant sur la roue folle
- W_r : Force de résistance agissant sur la grande roue

Le moment par rapport à z :

$$0 = W_f \cdot b - W_r \cdot c + F_{xf} \cdot h + F_{xr} \cdot h - R_{xf} \cdot h - R_{xr} \cdot h + D_{aero} (h_a - h) \quad (13)$$

La force en dessous de chaque roue peut être trouvée grâce aux équations (12) et (13) on a :

$$\bullet W_f = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{c}{l} - F_{xr} \cdot \frac{h}{l} - F_{xf} \cdot \frac{h}{l} + R_{xr} \cdot \frac{h}{l} + R_{xf} \cdot \frac{h}{l} - D_{aero} \cdot \frac{(h_a - h)}{l} \quad (14)$$

$$\bullet W_r = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{b}{l} + F_{xr} \cdot \frac{h}{l} + F_{xf} \cdot \frac{h}{l} - R_{xr} \cdot \frac{h}{l} - R_{xf} \cdot \frac{h}{l} + D_{aero} \cdot \frac{(h_a - h)}{l} \quad (15)$$

L'équation (1) peut également être écrite sous la forme :

$$m \cdot a_x = F_x - R_x - m \cdot g \sin \theta - D_{aero} \quad (16)$$

$$\text{Avec } F_x = F_{xf} + F_{xr} \text{ et } R_x = R_{xf} + R_{xr}$$

Si on exprime les équations (14) et (15) en termes d'accélération on a :

$$\bullet W_f = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{c}{l} - m \cdot a_x \cdot \frac{h}{l} - D_{aero} \cdot \frac{h_a}{l} - m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \frac{h}{l} \quad (17)$$

$$\bullet W_r = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{b}{l} + m \cdot a_x \cdot \frac{h}{l} + D_{aero} \cdot \frac{h_a}{l} + m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \frac{h}{l} \quad (18)$$

2.4.2. Puissance aux roues :

La puissance aux roues peut-être déterminer en partant de la relation suivante :

$$P_{m\ Reel} = \eta_{mec} \cdot P_{moteur} = \eta_{mec} \cdot \eta_{elec} \cdot P_{elec} \quad (19)$$

$$\Rightarrow \eta = \eta_{mec} \cdot \eta_{elec}$$

Avec :

- $P_{m\ Reel}$: Puissance moteur réelle
- P_{moteur} : Puissance moteur
- P_{elec} : Puissance électrique

Effet de traction des roues :

$$P_{m\ Reel} = F_m \cdot v = F_m \cdot \omega_{mr} \cdot R_e \quad (20)$$

Avec :

- R_e : rayon effectif
- F_m : Force motrice
- v : Vitesse de la roue

$$P_{moteur} = C_m \cdot \omega_m \text{ Avec } \omega_m = n \cdot \omega_{mr} \text{ et } n > 1 \text{ rapport de vitesse}$$

$$\Rightarrow F_m = \eta \cdot C_m \cdot \frac{\omega_m}{\omega_{mr} \cdot R_e}$$

$$\Rightarrow F_m = \eta \cdot C_m \cdot \frac{n}{R_e} \quad (21)$$

2.4.3. Force de résistance

2.4.3.1. Force aérodynamique

La force aérodynamique est la résistance que l'air exerce sur tout corps en mouvement. Il s'agit de la force ressentie sur votre main lorsque vous la sortez par la fenêtre d'un véhicule. Parmi les principaux facteurs explicatifs de la force aérodynamique, la vitesse est le facteur explicatif le plus important [39]. Alors il est inutile d'aller plus loin étant donné que la vitesse maximale pour un fauteuil roulant est relativement faible, cette force est d'un ordre bien inférieur aux autres. Elle est estimée entre 1,6N pour une vitesse de 1m/s [40].

2.4.3.2. Force des résistances dans les paliers

Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission. Les paliers font partie des composants les plus importants des transmissions de mouvement. D'après les expériences menées jusqu'à aujourd'hui, ce type de

résistance reste négligeable. En effet, l'ordre de couple résistant des roulements pour un fauteuil est de 0,1Nm [40].

2.4.3.3. Force de résistance dues à la compression de pneus

Cette force est prépondérante dans le cas du mouvement d'un fauteuil roulant. Plusieurs facteurs influencent cette force, on peut notamment citer [40]:

- La pression des pneus
- L'hystérésis du caoutchouc
- La friction
- La surface de la route

Pour l'expérience, celle-ci peut être définie comme étant linéaire avec la force verticale appliquée sur le pneu. On a donc :

$$F_{rl} = f \cdot W \quad (22)$$

Où f est un coefficient de proportion, à trouver grâce à quelques expériences avec un fauteuil réel.

2.4.3.4. Force due à la montée

Considérons un corps de masse m sur un plan incliné, la représentation de la configuration est donnée sur la figure 36 suivante :

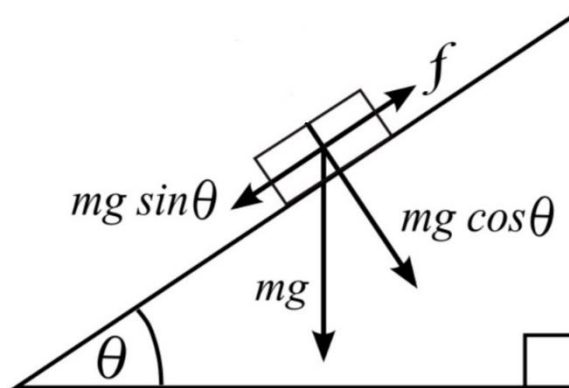


Figure 36 : La force due à la montée

La force due à la montée d'un objet de masse m est donnée par :

$$F_{grading} = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (23)$$

Avec :

- θ : Angle d'inclinaison du plan par rapport à l'horizontale
- $F_{grading}$: Force de gravitation s'opposant au mouvement

Au final, on a que :

$$F_{res} = F_{aero} + F_{palier} + F_{rl} + F_{grading} \quad (24)$$

Avec :

- F_{aero} : Force aérodynamique
- F_{palier} : Force de résistante des paliers
- F_{rl} : Force de résistance due à l'écrasement des pneus

$$\Rightarrow m \cdot a_x = F_{moteur} - F_{res}$$

$$\Rightarrow F_{moteur} = m \cdot a_x + F_{res} \quad (25)$$

En descente, les équations sont légèrement différentes ; ici on est en mode freinage (F_x et R_x).

F_x et R_x sont dans le même sens.

À l'équilibre :

↗ Par rapport à x :

$$m \cdot a_x = F_{xf} + F_{xr} + R_{xf} + R_{xr} - m \cdot g \sin \theta + D_{aero} \quad (26)$$

↗ Par rapport à z :

$$0 = m \cdot g \cos \theta - W_f - W_r \quad (27)$$

↘ Le moment par rapport à z :

$$0 = W_f \cdot b - W_r \cdot c - F_{xf} \cdot h - F_{xr} \cdot h - R_{xf} \cdot h - R_{xr} \cdot h + D_{aero} (h_a - h) \quad (28)$$

La force en dessous de chaque roue peut être trouvée grâce aux équations (27) et (28) on a :

$$\bullet W_f = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{c}{l} + F_{xr} \cdot \frac{h}{l} + F_{xf} \cdot \frac{h}{l} + R_{xr} \cdot \frac{h}{l} + R_{xf} \cdot \frac{h}{l} - D_{aero} \cdot \frac{(h_a - h)}{l} \quad (29)$$

$$\bullet W_r = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{b}{l} - F_{xr} \cdot \frac{h}{l} - F_{xf} \cdot \frac{h}{l} - R_{xr} \cdot \frac{h}{l} - R_{xf} \cdot \frac{h}{l} + D_{aero} \cdot \frac{(h_a - h)}{l} \quad (30)$$

L'équation (26) peut également être écrite sous la forme :

$$m \cdot a_x = F_x + R_x - m \cdot g \sin \theta + D_{aero} \quad (31)$$

$$\text{Avec } F_x = F_{xf} + F_{xr} \text{ et } R_x = R_{xf} + R_{xr}$$

Si on réexprime les équations (29) et (30) en termes d'accélération on a :

$$\bullet W_f = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{c}{l} + m \cdot a_x \cdot \frac{h}{l} - D_{aero} \cdot \frac{h_a}{l} + m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \frac{h}{l} \quad (32)$$

$$\bullet W_r = m \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \frac{b}{l} - m \cdot a_x \cdot \frac{h}{l} + D_{aero} \cdot \frac{h_a}{l} - m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \frac{h}{l} \quad (33)$$

Au final, on a que :

$$F_{res} = F_{aero} + F_{palier} + F_{rl} - F_{grading} \quad (34)$$

$$\Rightarrow m \cdot a_x = F_{moteur} + F_{res}$$

$$\Rightarrow F_{moteur} = m \cdot a_x - F_{res} \quad (35)$$

2.5. Types de transmission :

Plusieurs possibilités sont envisageables :

- Transmission par friction sur le pneu ou sur un bandage intérieur de la roue.
- Transmission par engrenage avec couronne intérieure dans la roue.
- Transmission par engrenage avec couronne extérieure fixée à la roue (sur le moyeu ou via un arbre).
- Transmission par chaîne ou par courroie
- Moteur dans la roue.

Nous allons donc effectuer un choix parmi ces différentes solutions, en fonction de leur rentabilité(complexité).

2.5.1. Transmission par friction

Il s'agit de transmettre une certaine puissance par adhérence. Une représentation de la configuration est donnée sur la figure 37 :

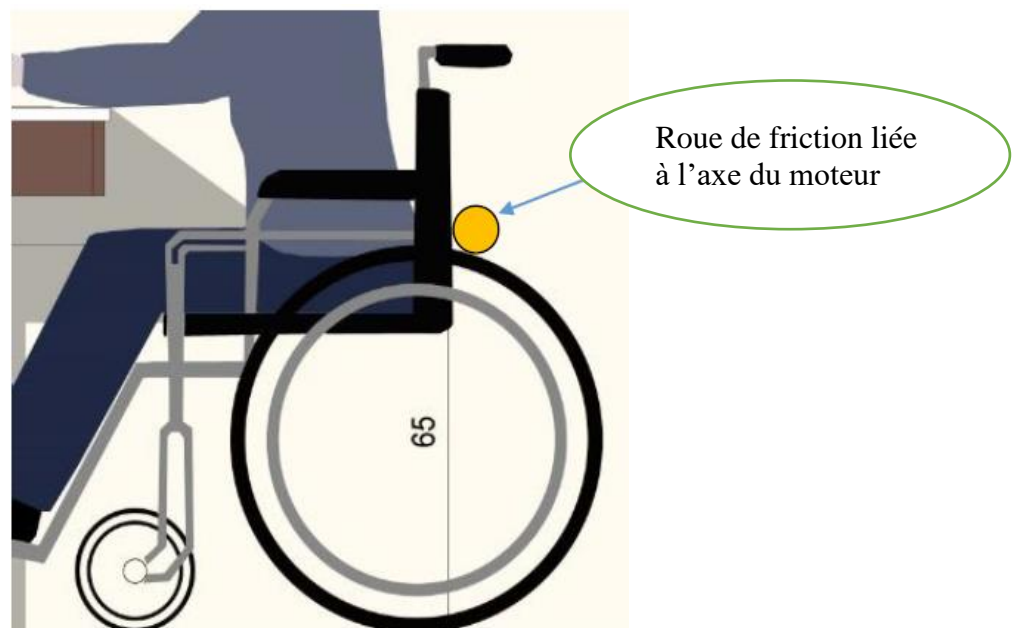


Figure 37: Transmission par friction [40].

On remarque tout d'abord un premier inconvénient. Si on positionne le moteur directement sur la structure, la position de l'axe du moteur est « forcée ». De plus, on remarque que, dans ce cas, le système aura tendance à gêner la personne car il se situe en partie dans le champ d'action de ses bras lors du mouvement. Pour remédier à cela, il faudrait déporter l'axe du moteur plus loin, mais

l'encombrement deviendrait vite problématique. Par contre, ce système permet l'utilisation d'un très grand rapport de démultiplication. Par ailleurs, malgré le grand rapport de démultiplication, ce système ne convient que pour des faibles puissances car le glissement apparaît à ce moment. Si on essaie d'augmenter l'adhérence des deux roues en les pressant l'une sur l'autre, il y aura alors une dégradation rapide des roulements. De plus, le rendement d'une telle transmission est très variable [40].

2.5.2. Transmission par engrenage avec couronne intérieure dans la roue :

Il s'agit de transmettre la puissance avec un système d'engrenage dont la couronne serait intérieure à la roue.



Figure 38: Transmission par engrenage avec couronne intérieure dans la roue [40].

Dans cette situation, tous les désagréments de la roue de friction sont contrecarrés, à part la position de l'axe du moteur (celle-ci devient tout de même moins problématique car elle ne gêne plus le mouvement de la personne). Il est ainsi possible de transmettre de plus grandes puissances (dépend du module utilisé) avec un bon rendement (généralement supérieur à 95%) [40]. En outre, en raison du grand nombre de dents de la couronne intérieure, nous aurons également une grande démultiplication. En revanche, son principal et très grand désavantage est son coût de fabrication. Cela demande en effet des ressources d'usinage dont le coût peut devenir rapidement prohibitif. Nous souhaiterions donc, dans la mesure du possible, ne pas utiliser cette solution car nous n'avons pas assez de ressources budgétaires. Ce qui ne nous permet pas d'utiliser des pièces trop onéreuses.

2.5.3. Transmission par engrenage avec couronne extérieure liée à la roue :

Il s'agit d'une autre possibilité de transmission. Dans ce cas, deux configurations sont possibles :

- Couronne fixée au moyeu, comme sur la roue arrière d'un vélo.
- Couronne fixée sur un arbre, celui-ci étant lié à la roue.

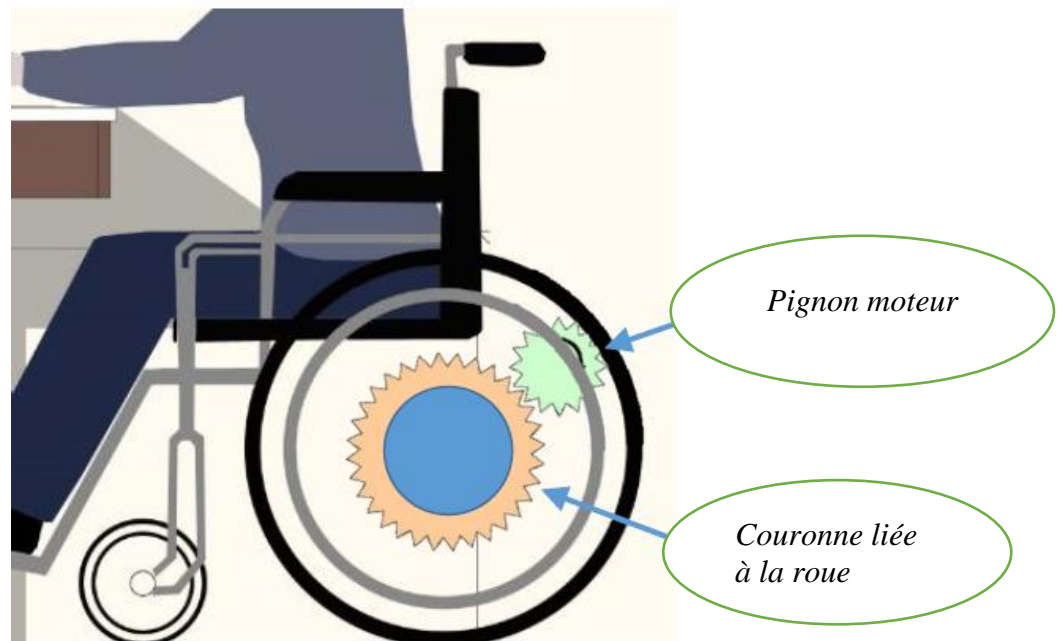


Figure 39: Transmission par engrenage avec couronne extérieure liée à la roue [40].

La différence entre les deux configurations vient essentiellement de la position des roulements. Dans le premier cas, tout est fixé sur la roue. Les roulements peuvent donc être laissés d'origine sur la roue. Par contre, les moyeux originaux des fauteuils roulants ne sont pas prévus pour recevoir de la puissance. Il faudrait donc fabriquer nos propres moyeux ou alors, adapter ceux existants. Dans le second cas, il faut impérativement mettre les roulements sur la structure de la chaise. De plus, il faut fixer la roue sur un arbre, soit en fabriquant un nouveau moyeu, ou alors en sertissant celui préexistant. La couronne sera alors fixée sur l'arbre, dimensionné à cet effet. Les deux cas de figure demandent donc certaines modifications des roues.

Cette solution suit naturellement la précédente. En effet, le coût d'une telle configuration est moins important car elle utilise des éléments standards. Par contre, nous perdons le grand rapport de démultiplication vu le nombre limité de dents pour ce genre de couronne (pour aussi une question de poids). Pour garder ce grand rapport de démultiplication, il faudrait utiliser par exemple un train épicycloïdal en série sur l'arbre du moteur. Ceci génère bien sûr des coûts

supplémentaires, mais également un volume supplémentaire. Par contre, nous gardons un haut rendement et la possibilité de transmettre une grande puissance [40].

2.5.4. Transmission par chaîne ou par courroie :

Il s'agit de la même configuration que précédemment, sauf qu'on accepte un certain décalage entre l'axe du moteur et celui de la roue en reliant les deux par une chaîne ou une courroie. Cette configuration a donc pour avantage d'assouplir les contraintes concernant la position du moteur.

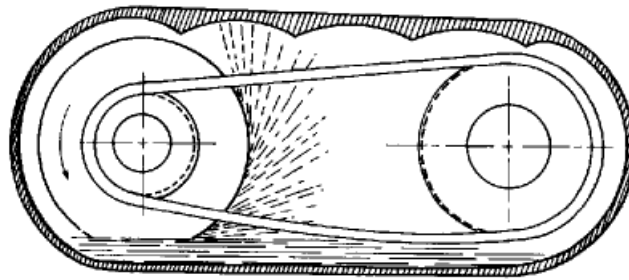


Figure 40: Transmission par chaîne ou par courroie [41].

L'utilisation d'une chaîne ou d'une courroie crée un certain lien entre les moteurs et la roue que l'utilisateur ne pourrait défaire dans le cadre de l'utilisation, à proprement parler [40]. Dans cette optique, il serait préférable d'utiliser la transmission par engrenage vue précédemment, qui autorise la séparation aisée entre les parties roue-moteur.

2.5.5. Moteur intégré dans la roue :

Il s'agit d'une technique inspirée des vélos à assistance électrique. Il est à noter que cette méthode est également utilisée dans les systèmes d'assistance actuels pour fauteuils roulants .



Figure 41: Moteur intégré dans la roue [42].

Les avantages d'un tel système sont indéniables : démontrabilité aisée et très simple d'implémentation. Ce système est également le plus réactif de ceux évoqués jusqu'à maintenant,

et ceci en parfait accord avec notre application. Si on compare cela à la transmission par engrenage à denture droite, il existe un certain « flottement » entre les dents et donc une perte de réactivité. L'inconvénient majeur de ce système est le faible nombre de moteurs différents disponibles sur le marché. De ce fait, il va être difficile de trouver un moteur qui n'est pas sur- ou sous-dimensionné. Néanmoins, ceux-ci sont prévus à la base pour être utilisés sur des vélos ; ils sont donc très coupleux et peuvent développer des puissances proches de celle dont nous aurons besoin.

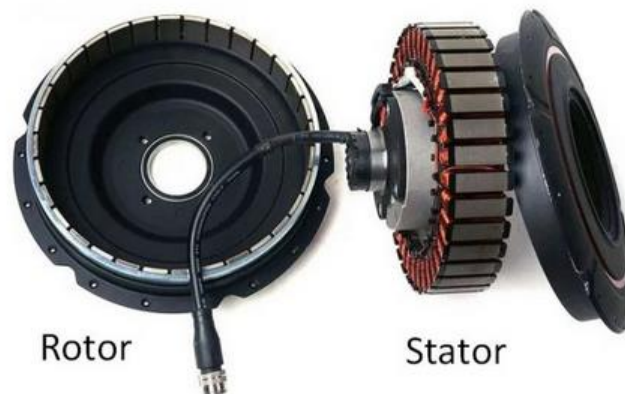


Figure 42: Moteur intégré dans la roue [43].

De plus, s'il advenait que ce système fonctionne parfaitement sur notre prototype, nous pourrions envisager de concevoir notre propre moteur si le besoin s'en fait sentir. Aussi, les roues des fauteuils roulants étant composées de rayons semblables à ceux des vélos, l'adaptation de tels moteurs se fera assez aisément.

2.6. Conclusion partielle

Les travaux préliminaires menés dans ce chapitre sont optimistes pour conduire à la réalisation de notre système. Nous avons tout d'abord fait une analogie entre le fauteuil roulant et le robot mBot cela nous a permis de faire la modélisation d'un fauteuil roulant partant de l'état cinématique d'un objet non déformable. Le modèle cinématique sert de décrire le mouvement sans se préoccuper des causes physiques qui l'ont engendré. Concernant le nombre de mouvements trouvés, on a trouvé qu'ils sont suffisants pour permettre à un paraplégique de se déplacer facilement à n'importe quelle destination. Nous avons également listé les divers types de transmission envisagés, dont le résumé a été évoqué ci-haut. Nous pouvons dire que les moteurs intégrés dans la roue nous paraissent être la solution la plus adaptée à notre problème. En plus, celle-ci est techniquement bien adaptée à cause de ses caractéristiques fort couple et faible vitesse de rotation.

Il est donc possible de mettre en œuvre ce vélo électrique pour personne paraplégique en utilisant des outils de classification (faire l'assortiment des pièces entre diverses séries en fonction de critères prédéfinis). Un aspect important qui n'a pas été traité clairement dans ce chapitre est le calcul de puissance pour faire la sélection des moteurs qui répondent le mieux aux besoins de notre application. Ce point fait l'objet du chapitre suivant dans lequel nous montrons les différents compartiments qui constituent notre système en globalité.

CHAPITRE 3 : CONCEPTION ET RÉALISATION DU VÉLO POUR PARAPLÉGIQUE

3.1. Introduction partielle

Grâce aux chapitres antérieurs, nous avons une idée générale sur la constitution de notre vélo mais aussi sur ses différents éléments. Ainsi, dans ce chapitre, nous réalisons des calculs de puissance en partant des formules développées dans le chapitre 2. Le calcul de puissance est effectué pour la propulsion du vélo en question en vue de faire le choix des moteurs existant sur le marché en tenant compte de la conclusion faite sur le choix de type de transmission pour notre système. Une fois cela fait, il s'ensuit la conception des modules de puissance partant d'obtenir des caractéristiques courant-tension de nos moteurs choisis pour ensuite faire le dimensionnement du stockage d'énergie avant de finir la conception par la programmation de l'interface d'Arduino. Ensuite, la réalisation pratique et, et les tests du prototype sont effectués. Les tests effectués permettront de vérifier si le prototype effectue tous les mouvements nécessaires à un paraplégique lors de son déplacement mais également pour vérifier l'intelligence du vélo.

3.3. Finalisation de Calcul de puissance et Choix des moteurs

Dans cette partie, nous allons faire le calcul de puissance du moteur. Il s'agira ainsi de déterminer la puissance, ainsi que le couple nécessaire en fonction de la vitesse de rotation des roues. Ensuite, nous effectuerons une sélection de nos actionneurs parmi les moteurs disponibles sur le marché afin d'utiliser un moteur répondant au mieux à nos critères.

3.3.1. Calculs rapides : Ici nous effectuons les calculs simples pour avoir un ordre de grandeur. Les hypothèses simplificatrices suivantes ont été prise en compte :

- Dans notre problème dynamique, en première approximation, nous pouvons modéliser notre vélo par une simple roue dont toute la masse est rassemblée en un point, en son centre.
- Nous supposerons que cette roue roule sans glisser et qu'il n'y a aucune force de résistance, à part l'inertie.

Alors de cette manière, le seul moment où le système aura besoin d'énergie importante pour se mouvoir sera en pente.

- **En montée :** le système devra propulser le vélo à raison de son énergie totale. Prenons un seuil maximum de 80% de l'énergie totale.

- **En descente** : le système devra freiner à raison de 80% de l'énergie totale.

Une représentation de la situation en montée est donnée ci-après :

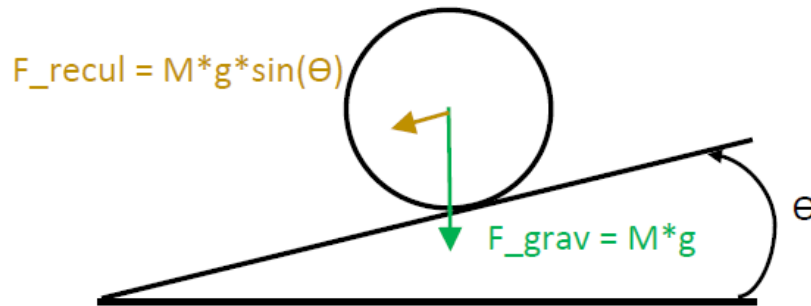


Figure 43: Représentation de la situation en montée [40].

Dans un premier temps, nos calculs seront effectués dans le pire des cas de figure 42 (en respectant les hypothèses précédentes). Etant donné qu'aucune force ne travaille à part F_{recul} , le moteur devra donc compenser 80% de celle-ci afin que le système continue son mouvement de MRU.

$$F_{\text{recul}} = F_{\text{grading}}$$

$$P_{\text{pente}} = F_{\text{grading}} \cdot V$$

$$\Rightarrow P_{\text{moteur}} = 0,8 \cdot P_{\text{pente}} \quad (36)$$

$$\Rightarrow C_{\text{moteur}} = 0,8 \cdot R_{\text{roue}} \cdot F_{\text{grading}} \quad (37)$$

Ces calculs ont été implémentées dans MATLAB (voir code annexe1), nous obtenons ainsi les résultats suivants :

- **Couple en Pente = 39.5555 Nm**
- **Puissance moteur = 180.2435 W**

Il est essentiel de garder en tête que ces calculs rapides sont plus qualitatifs que quantitatifs car les hypothèses effectuées sont très simplificatrices.

3.3.2. Calculs complexes : Ici nos calculs seront effectués en considérant les hypothèses précédentes mais à l'exception de la considération de l'existence de toutes les forces de résistance. Une représentation de la situation est donnée au figure 35 (mouvement longitudinal).

1) Déterminer les valeurs de c et b (distances axes-CG) :

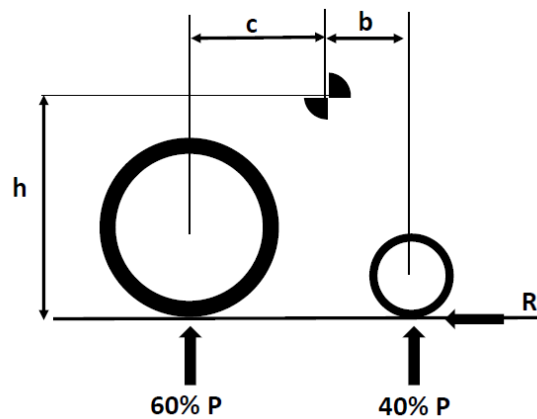


Figure 44 : Répartition de masse sur les roues [40].

Si on écrit les équations d'équilibre, on trouve :

- Verticalement :

$$P_T = 0.6 P + 0.4 P$$

- Horizontalement : $R = 0$
- Moment autour de Centre G :

$$0.4.P.b - 0.6.P.c - R.h = 0$$

$$\Rightarrow 0.4.b = 0.6.c$$

$$\Rightarrow \frac{b}{c} = \frac{3}{2}$$

Avec :

- P_T : Poids total
- P : Poids propre
- R : Force de répulsion
- h : Hauteur de l'assise par rapport au sol
- c : Distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation de la grande roue
- b : Distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation de la petite roue

Et on sait également que $b + c = L$, avec L la longueur qui est donné dans les caractéristiques de la chaise.

2) Déterminer la valeur de h :

Il n'y a pas de réelles données concernant cela, étant donné qu'elle dépend du poids du fauteuil et de l'utilisateur. En bonne approximation, on peut supposer le centre de gravité au niveau des

hanches de la personne assise, c'est-à-dire 20 cm au-dessus de l'assise du siège (la hauteur de l'assise par rapport au sol est également une donnée technique fournie par le constructeur).

3) Déterminer la valeur de h_a (hauteur du point d'application de F_{aero}) :

On peut supposer que la force de traînée s'applique au centre de gravité de la surface frontale (personne + fauteuil). Cette distance est considérée égale à h .

Nous avons maintenant toutes les données nécessaires à la résolution du problème. Concernant les dimensions utilisées, celles-ci proviennent du fauteuil manuel Invacare Ation1 qu'on peut observer sur la figure 1. Après calcul dans MATLAB (voir code annexe2),

$$F_{res} = F_{aero} + F_{paliers} + F_{rl} + F_{grading}$$

$$P_{res} = F_{res} \cdot V$$

$$\Rightarrow P_{moteur} = 0,8 \cdot P_{res} \quad (38)$$

$$\Rightarrow C_{moteur} = 0,8 \cdot R_{roue} \cdot F_{res} \quad (39)$$

Nous obtenons les résultats suivants :

- **Couple = 47,5187 Nm**
- **Puissance moteur = 216,5296 W**

Tout d'abord, on remarque que les ordres de grandeur sont en accord avec les calculs rapides effectués précédemment. Bien évidemment, les valeurs obtenues ici sont supérieures étant donné la considération de phénomènes supplémentaires, généralement en défaveur au système de propulsion. Ce couple et cette puissance correspondent au total requis, les moteurs sont au nombre de deux et travaillent équitablement, alors ces valeurs doivent être divisées par deux. Néanmoins, nous conservons ces valeurs car nous gardons la possibilité que la personne peut effectuer une rotation en pente. A ce moment-là, il n'y aura qu'un seul moteur en fonctionnement, et donc les valeurs trouvées ci-haut correspondent à un seul moteur.

4) Choix du moteur :

Un moteur électrique est un organe électromécanique permettant la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique. Le plus souvent le mouvement est rotatif, l'énergie mécanique se caractérisant par la vitesse de rotation et le couple moteur. Il y a plusieurs critères pour faire le choix d'un moteur mais dans cette partie nous allons faire le choix en fonction des spécifications techniques déterminées au point précédent et le dimensionnement.

Concernant les spécifications techniques, il faut faire le choix en tenant compte de la puissance, du couple et de la vitesse du moteur. Concernant le dimensionnement, il faut veiller à limiter l'encombrement (la taille du moteur) tout en respectant le type de montage (comment le moteur sera fixé dans le système). Il faut également mettre en évidence que le moteur sert uniquement d'assistance et ne doit donc pas excéder le couple limite et la puissance limite développée par un humain.

Connaissant maintenant les différentes caractéristiques nécessaires du point de vue spécifications techniques et de dimensionnement, nous pouvons sélectionner un moteur sur le marché. On peut également trouver ce genre de moteur sur des sites de vente tel que : ozo-electric.com, Ebay.com ou Aliexpress.com... En faisant de recherches nous avons choisi le moteur qui répond exactement à nos critères, qui est illustré sur la figure 45.



Figure 45: Moteur brushless entraxe [44].

Ceci est un moteur brushless de puissance nominale 250W, fonctionne sous une tension soit de 24V et 36V en continu avec une vitesse max de 25km/h sous 36V. Ce moteur a un rendement max de 80% et il possède un capteur à effet Hall.

3.4. Module de puissance

Un module de puissance fait référence à un dispositif électrique qui régule le couple et la vitesse d'un moteur, etc. La plupart des moteurs nécessitent au moins plusieurs ampères pour bien fonctionner. Malheureusement, les microcontrôleurs ne peuvent fournir qu'environ 40 mA; ce qui est trop peu. D'où la nécessité d'utiliser un module de puissance, encore appelé contrôleur, qui permet d'atteindre le nombre nécessaire d'ampères.

3.4.1. Conception du module de puissance pour le prototype

Pour un moteur brushless, on aura besoin d'un contrôleur, car ce moteur fonctionne en courant triphasé. Le contrôleur a pour rôle de transformer le courant continu de la batterie en générant 3 signaux des fréquences multiples de la fréquence de rotation, et déphasés de 120° . Chaque bobine est alimentée alternativement pour entraîner la rotation du moteur. On peut également trouver ce genre de contrôleur sur des sites de vente. Celui qui convient le mieux pour être utilisé avec le moteur brushless est illustré sur la figure 45 suivante :



Figure 46: Contrôleur de moteur BLDC [45].

Etant donné la difficulté financière de se procurer le moteur brushless, nous n'avons pas eu à concevoir ce type de contrôleur. Pour la réalisation du prototype, nous avons récupéré deux moteurs pour pompe à membrane SHURflo de caractéristiques : 12V, I_{max} 7.5A et 12V, I_{max} 7A.



Figure 47: Pompe à membrane SHURflo.

Pour commander ce moteur, nous avons besoin d'un circuit électronique qui sera contrôlé par un circuit de commande. Le circuit de commande émet un signal (ou un certain nombre de signaux)

pour contrôler le circuit électronique. Ce dernier est choisi ou conçu en tenant compte des caractéristiques du moteur. Et pour nos moteurs trouvés localement on aura besoin d'un dispositif appelé pont H.

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un récepteur. Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H; d'où le nom de pont H. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée. Ils permettent d'inverser le sens de rotation d'un moteur à courant continu.

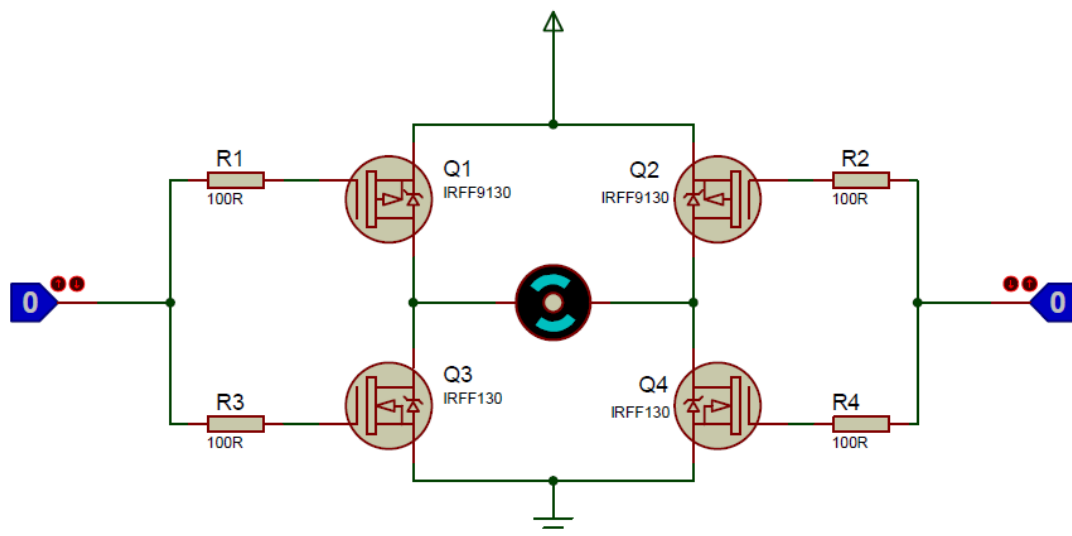


Figure 48.: Pont H [46].

Nous devons fabriquer ce module selon les caractéristiques de nos moteurs. Ce module doit être alimenté à 12V DC et commandé par des interrupteurs. On peut utiliser les transistors bipolaires comme interrupteur. On utilise généralement des transistors PNP pour les interrupteurs du haut (Q1 et Q2) et des transistors NPN pour les deux interrupteurs du bas (Q3 et Q4) [46].

Les transistors MOSFET sont mieux adaptés pour la réalisation d'un pont en H. Leur chute de tension à leurs bornes est plus faible, leur commutation est plus rapide et le courant supporté par le transistor est plus important. Leur résistance résiduelle lorsqu'ils sont saturés est assez faible et limite donc la puissance dissipée. Donc nous allons utiliser des MOSFET à canal P pour les transistors du haut et des MOSFET à canal N pour les transistors du bas. Voici le schéma réalisé dans Isis-Proteus :

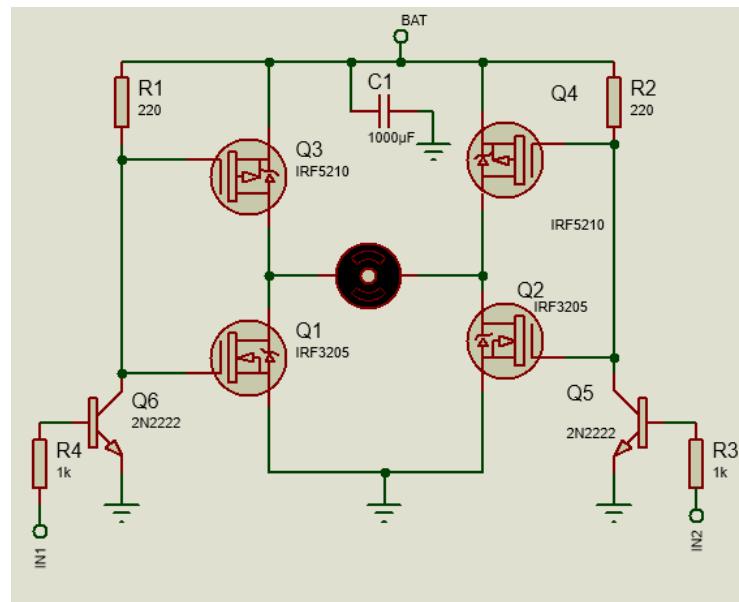


Figure 49: Pont H propre.

Le problème majeur observé lors des essais, est que nous n'avons pas la possibilité de varier la vitesse avec notre modèle établi ci-dessus. Il résout le problème d'inverser le sens de rotation mais il ne donne pas la possibilité de varier la vitesse. Alors, pour varier la vitesse, il existe plusieurs techniques mais nous allons utiliser la modulation des largeurs d'impulsion (PWM) avec le circuit L293D.

Nous allons nous intéresser plus précisément aux broches enable du circuit L293D; elles sont identifiées comme les broches permettant de recevoir l'information de vitesse. Donc on peut faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu avec l'Arduino grâce à ses broches.

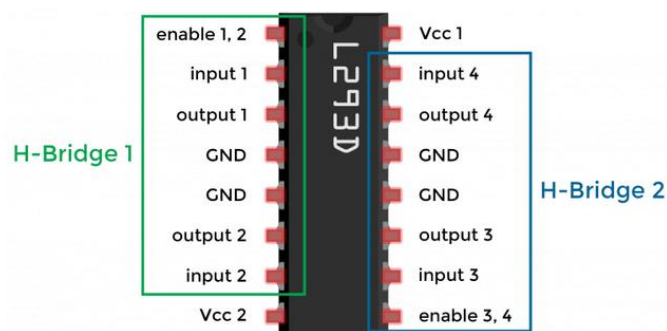


Figure 50: Circuit L293D [47].

Les bornes d'entrées repérées enable 1,2 et enable 3,4 permettent respectivement de recevoir l'information de vitesse en provenance de l'Arduino. Ce signal est de forme PWM et doit être généré par la carte Arduino. PWM veut dire Pulse Width Modulation ou en français MLI pour

Modulation à Largeur d'Impulsion. Le but du signal PWM est de permettre d'avoir une tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. La période du PWM - Temps d'enclenchement et de déclenchement est présentée sur la figure 51 suivante :

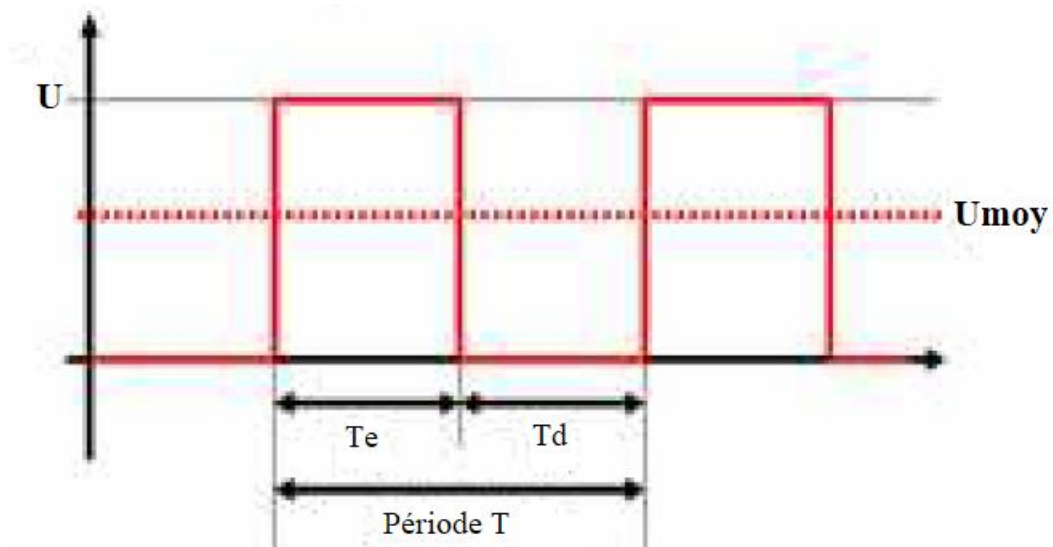


Figure 51: Temps d'enclenchement et de déclenchement (PWM) [36].

- T est la période du signal PWM,
- Le temps d'enclenchement,
- Et le temps de déclenchement.

La tension moyenne vue par la charge est donc dépendante du rapport entre temps d'enclenchement et temps de déclenchements, nous parlons de taux du PWM donné habituellement en %. Pour exemple ; avec une tension 12 Volts, le PWM nous permet de balayer toute la plage de 0V (taux de 0%) à 12V (taux de 100%), ainsi avoir une source variable de 0 à 12V.

Pour résoudre le problème rencontré, nous allons utiliser la technique de l'amplification via un transistor MOSFET. On trouve de nombreux exemples de connexion pour l'Arduino, comme celui illustré sur la figure 51.

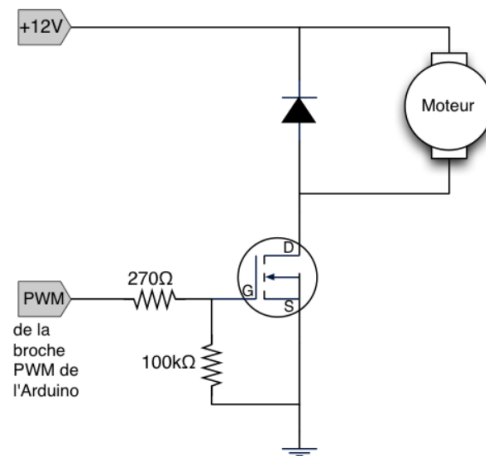


Figure 52 : Amplification via un transistor MOSFET [48].

La diode en parallèle avec le moteur est une diode de roue libre. Etant donné que le moteur est une charge inductive et lorsque le MOSFET cesse de conduire le courant, ce dernier ne s'arrête pas instantanément de circuler. Comme il doit aller quelque part, la diode lui offre un chemin. Le courant circule donc en boucle dans le moteur via la diode jusqu'à ce que la résistance du moteur le dissipe sous forme de chaleur. Alors on va ajouter une broche enable à notre montage du pont H présenté à la figure 49 ; cette broche jouera le rôle de recevoir l'information de vitesse à partir de la carte Arduino.

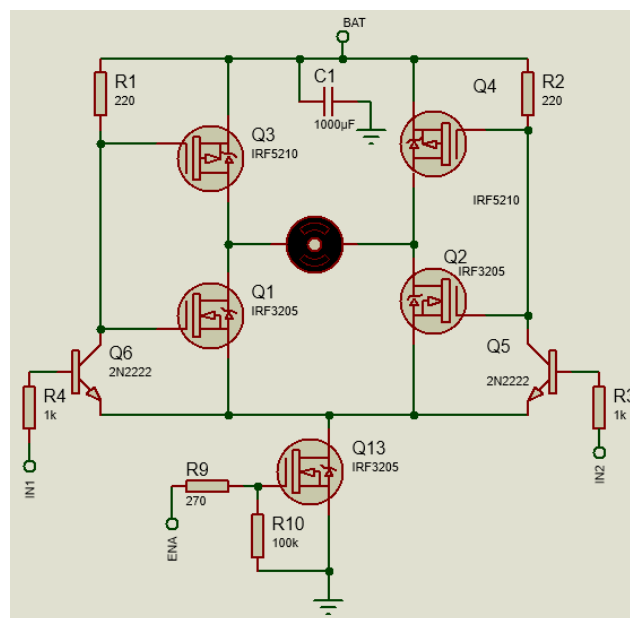


Figure 53: Pont H propre modifier

En bref, tel qu'on le voit, notre module de puissance se commande par l'intermédiaire de :

- Deux entrées logiques (0 ou 1) pour allumer le module dans le sens 1 ou sens 2,
- Une entrée PWM (de 0 à 255) pour faire varier la vitesse du moteur dans les deux sens.

3.5. Dimensionnement du système de stockage.

Concernant le dimensionnement de la batterie, plusieurs manières de le faire sont possibles.

Nous pouvons tout d'abord prendre en compte comme étant notre cahier des charges les éléments suivants :

- **Autonomie** : 30 km (Déterminée préalablement en fonction des produits préexistants).
- **Vitesse en plat** : 5 km/h.
- **Vitesse en pente** : 3 km/h (en considérant une pente de 5%).

Connaissant cela, il faut maintenant évaluer la dépense énergétique pour parcourir 30 km. Pour avoir un premier ordre de grandeur, nous avons trouvé les données suivantes :

- **Marche et course à pied** : environ 15 Wh/km ;
- **Vélo** : 6 à 9 Wh/km, 10 Wh/km à l'extrême (efforts violent sur routes irrégulières) ;
- **Vélo couché** 6 à 7.5 Wh/km [49] [50] [40].

Comme nous voulons résoudre un problème d'autonomie d'une personne, on utilise les données les plus extrêmes, c-à-d celles de la marche, on se base sur une consommation de 15 Wh/km. Pour une distance de 30 km, on a donc : $15 \times 30 = 450 \text{ Wh}$. D'habitude, l'autonomie des batteries est mentionnée en Ah; il faut donc connaître la tension de la batterie pour faire le lien entre les deux et naturellement, on sait que travailler à plus basse tension demande une batterie ayant une plus grande capacité en termes d'Ah.

- Batterie – 24V : $450/24 = 18,75 \text{ Ah}$
- Batterie – 36V : $450/36 = 12,5 \text{ Ah}$
- Batterie – 48V : $450/48 = 9,375 \text{ Ah}$

Nous allons définir deux situations à prendre en compte dans notre ligne de conduite. La première sera bien entendu une vitesse de croisière lorsque le vélo sera à plat. Pour le second, nous considérerons une côte de 5 %.

Tableau 4: Vitesse, couple en plat et en cote de 5%.

Description	Couple de croisière	Vitesse
Tracé plat	8.0067 Nm	5km/h
Pente de 5 %	21.6917 Nm	3km/h

Le tracé typique du vélo en question est difficile à évaluer, alors nous nous fixons des hypothèses supplémentaires. Nous considérons qu'il est constitué :

- De revêtement plat 75% et
- De pentes à 25%.

Cela nous semble être le rapport le plus adéquat par expérience. En effet, par analogie avec un marcheur urbain, le pourcentage de distance effectué à plat équivaut souvent à 75% du trajet total. Il est donc tout à fait raisonnable de considérer les mêmes hypothèses pour une personne en vélo pour paraplégique.

Tableau 5: Distance, vitesse et temps de parcours.

Description	Distance	Vitesse	Temps de parcours
Tracé plat	22,5 km	5km/h	$\frac{22,5km}{5km/h} = 4,5h$
Pente de 5%	7,5 km	3km/h	$\frac{7,5km}{3km/h} = 2,5h$
Total	-	-	7h

Nous trouvons 7h du temps de parcours et en gardant donc notre hypothèse stricte de 30 km d'autonomie, on peut calculer les énergies dépensées par chacun des deux types de tracés considérés :

Tableau 6: Couple, temps de parcours et énergie.

Description	Couple	Temps de parcours	Énergie
Tracé plat	8.0067 Nm	4.5h	164.1801Wh
Pente de 5%	21.6917 Nm	2,5h	148.2644 Wh
Total	-	-	312.4444 Wh

Alors en tenant compte du rendement du moteur qui est de 80%, celui-ci n'est pas pris arbitrairement voir caractéristiques du moteur Brushless. Calculons l'énergie électrique :

$$E_{elec} = \frac{E_{util}}{\eta} \quad (38)$$

$$E_{elec} = \frac{312.4444}{0.80} = 390.5556Wh$$

Supposant que la tension nominale de la batterie reste relativement constante au long de la décharge, l'énergie emmagasinée dans la batterie est donnée par :

$$E = U.I.t = U.Q = 390.5556Wh \quad (39)$$

$$\Rightarrow Q = \frac{E}{U} \quad (40)$$

La tension de la motorisation dépendant de sa conception ultérieure, celle-ci est donc déterminée précisément sur le moteur. Si on considère deux tensions nominales selon les caractéristiques du moteur Brushless, on peut calculer les charges électriques nécessaires :

Tableau 7: Tension nominale, énergie et charge.

Tension nominale	Energie (E)	Charge (Q)
24V	390.5556 Wh	16.2731Ah
36V	390.5556 Wh	10.8488Ah

Une fois la capacité de la batterie déterminée, il convient de choisir une technologie de batterie à utiliser. Sur le marché, il existe bon nombre de couples électrochimiques utilisés en termes de stockage d'énergie électrique. Voici les technologies les plus répandues, à savoir :

- Ni-Cd
- Plomb, acide ou gel
- Li-Po

Chaque technologie possède un champ d'application bien à lui. On favorise par exemple le Ni-Cd pour des applications demandant un faible courant de décharge, mais nécessitant un rechargement fréquent. Par contre, les batteries au plomb sont les moins onéreuses et possèdent un excellent maintien de la charge dans le temps. Enfin, le Li-Po demeure une solution où de grands courants de décharge sont demandés et où le poids est un critère important. Par contre, son principal inconvénient provient du BMS, nécessaire à son utilisation (en termes de sécurité et longévité).

Alors la capacité de la batterie ne doit pas être énorme. Nous fixons la limite de celle-ci arbitrairement à 50000mAh, dont 4 packs de batterie Li-Po qu'on va associer en parallèle; ce qui fait 20000mAh; ce qui est largement suffisant.

3.6. Programmation de la carte de commande

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, nous allons utiliser le microcontrôleur Arduino pour la gestion des données. Néanmoins, il existe une grande variété de modèles mais en matière de connectivité, nous allons utiliser l'Arduino méga-2560 du fait qu'on retrouve un nombre d'entrées et de sorties plus importantes.



Figure 54: Carte Arduino mega-2560 [51].

La carte Arduino méga-2560 est basée sur un ATmega2560 cadencé à 16 MHz. Elle dispose de 54 entrées/sorties dont 14 PWM, 16 analogiques et 4 UARTs. Elle est idéale pour des applications exigeant des caractéristiques plus complètes que la Uno. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enficher une série de modules complémentaires [51].

Caractéristique de la carte :

La carte Arduino méga 2560 peut être alimenté via un port USB ou en insérant une tension de 7 à 12 V sur connecteur d'alimentation nommé vin, elle possède également :

- Microprocesseur : ATmega2560
- Mémoire flash : 256 kB
- Mémoire SRAM : 8 kB
- Mémoire EEPROM : 4 kB
- Intensité par E/S : 40 mA

- 3 ports série [51].

Cette carte peut se programmer avec le logiciel Arduino disponible gratuitement. Voyons maintenant d'autres composants requis pour ce projet. Évidemment, nous avons besoin de deux capteurs à ultrasons pour l'observation avant et arrière, d'un afficheur I2C LCD qui permet d'afficher des informations à l'utilisateur, quelques leds ; nous nous en servons principalement pour faire de la signalisation et en fin d'un clavier matriciel 4×4, c'est un type de clavier qui utilise une grille de 4 colonnes et 4 lignes de touches pour entrer des données. Le clavier est souvent utilisé lorsqu'on a conservé de l'espace à l'utilisateur. Le code Arduino est un peu plus long, il est exhibé dans l'Annexe3 de ce document, Nous devons donc inclure la bibliothèque LiquidCrystal standard pour l'écran LCD et la bibliothèque du clavier qui doit être installée en plus. Ensuite les broches des capteurs à ultrasons, définir certaines variables nécessaires au programme, ainsi que définir les touches du clavier. Voici le tracé de l'exécution du programme :

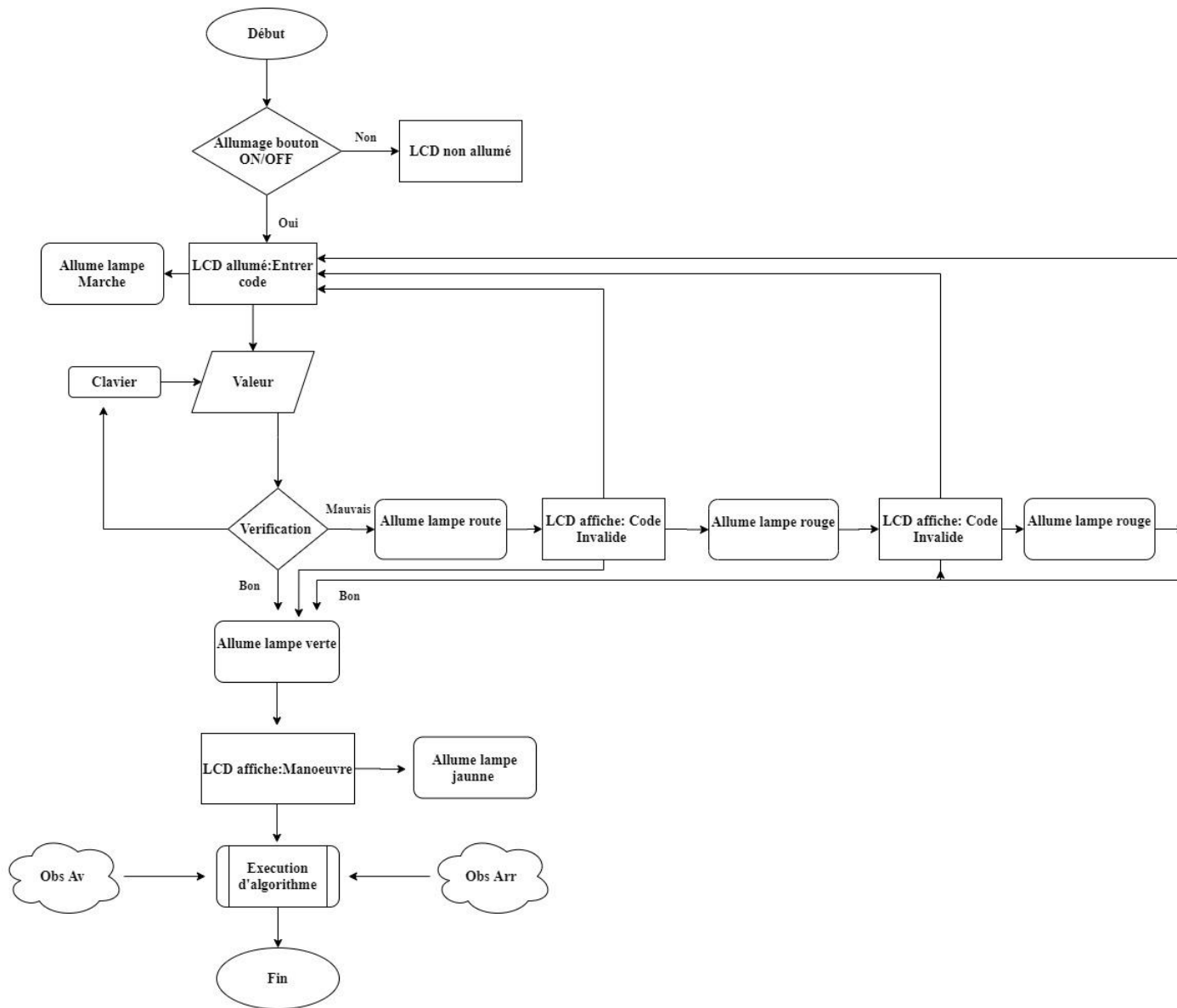


Figure 55: Tracé de l'exécution du programme

3.7. Schéma globale du système :

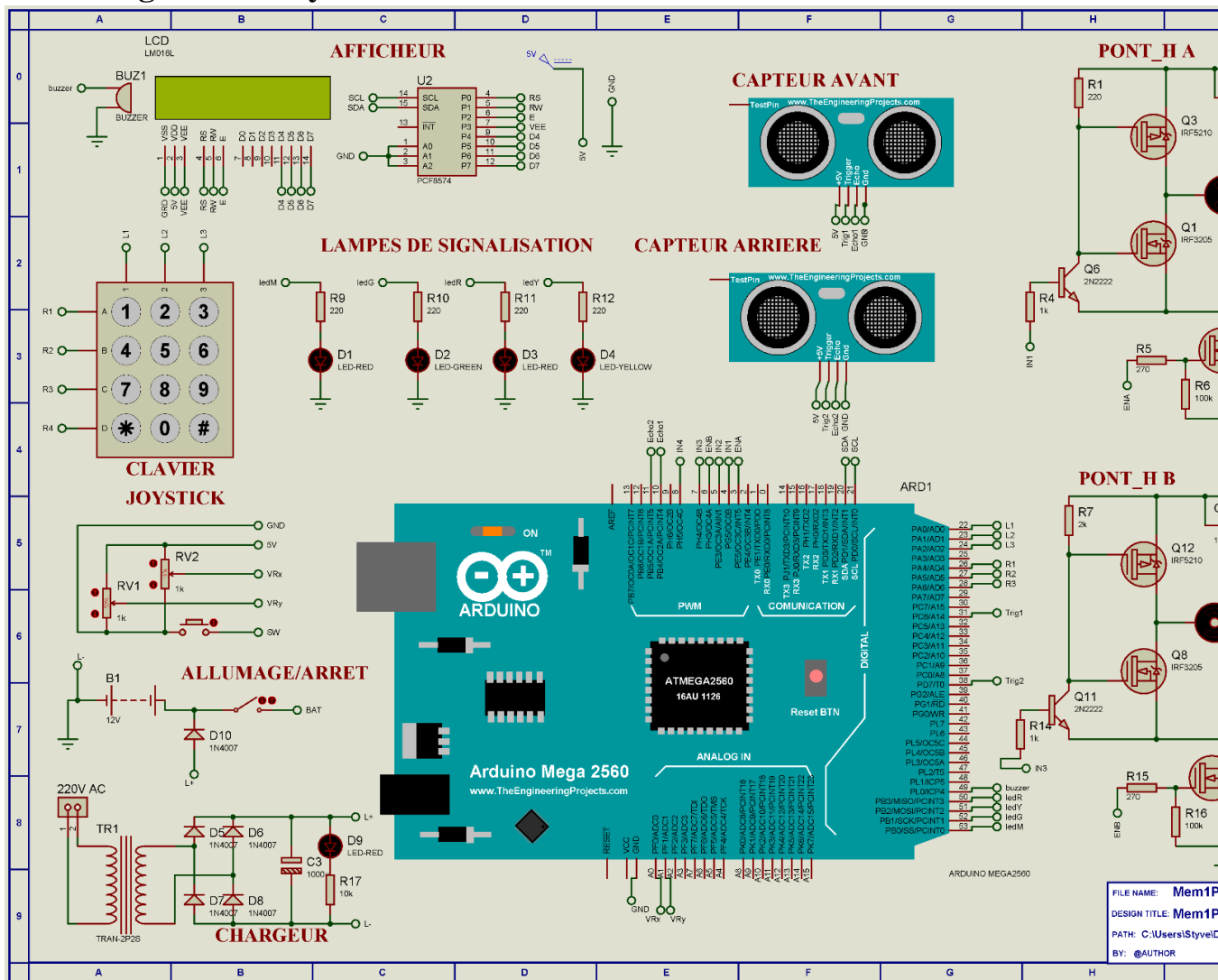


Figure 56: Schéma globale du système dessiné avec Proteus

Sur le schéma précédent, réalisé dans le logiciel Proteus, la carte Arduino MEGA est chargée de recevoir les signaux provenant des modules et des capteurs ainsi que de commander les moteurs via les ponts H. En appuyant sur l'allumage ; la lampe marche, l'afficheur s'allume automatiquement et le mot de passe est requis (on propose alors l'inscription du mot de passe à 4 chiffres '1111'), grâce au programme inséré dans Arduino, on identifie les boutons enfoncés sur le clavier et via l'écran LCD on les représente en masquant les caractères. Pour la validation, on appuie sur le bouton '*' ; si le mot de passe est bon la lampe verte s'allume sinon c'est la rouge qui s'allume. Mais aussi, il y a la possibilité de réinitialiser le mot de passe en cas d'erreur de saisie en appuyant sur le bouton '#'. Lors d'un mauvais mot de passe, un message s'inscrit sur l'afficheur indiquant de réessayer à nouveau. Si on introduit trois fois de suite un faux mot de passe, l'afficheur indique 'ATTENTION' et directement l'alarme sonore est réalisée par le Buzzer. Le module joystick est là pour le pilotage. Les deux capteurs ultrasons jouent le rôle de détecteur d'obstacle et ils envoient des données à la carte Arduino et cette dernière, grâce aux données reçues, prend les décisions lors du manœuvre.

3.8. Réalisation du prototype

En vue de réaliser quelque chose de simple et peu coûteux, nous sommes partis d'une plaque en bois MDF de 2cm d'épaisseur, 34cm de longueur et 30cm de largeur. Sur celle-ci sont fixés les différents éléments du système que nous décrivons dans les parties qui suivent. Ci-dessous une photographie du prototype :

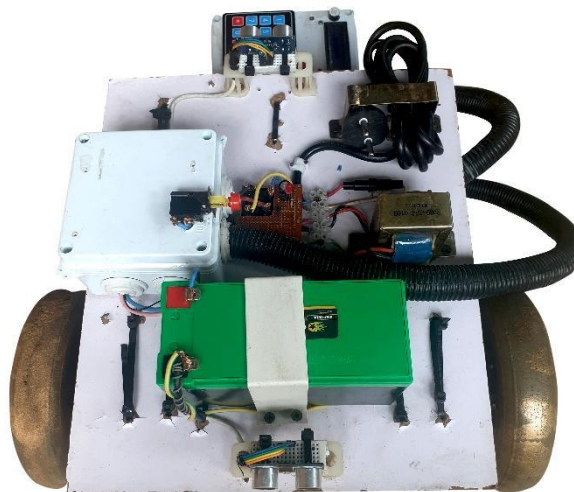


Figure 57: Vue en perspective du prototype

3.8.1. Capteurs d'ultrason HC-SR04

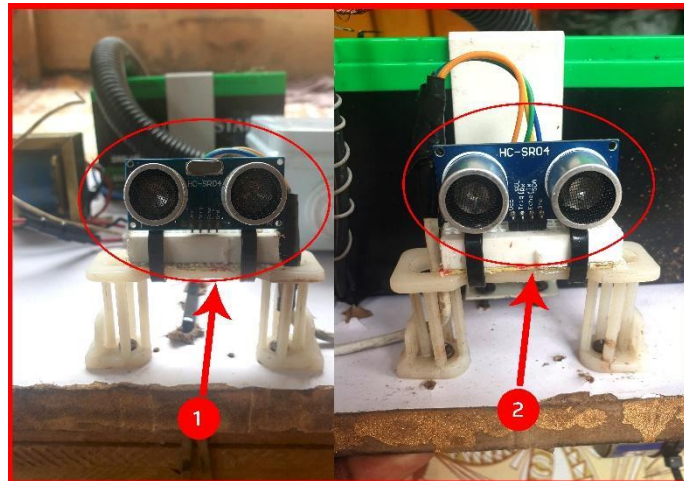


Figure 58: Les capteurs du prototype

On repère 2 capteurs dont :

1. Capteur avant
2. Capteur arrière

3.8.2. Vue de dessus

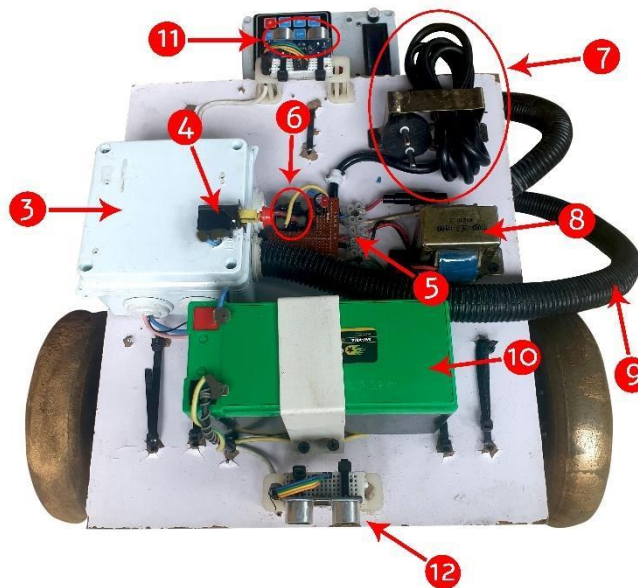


Figure 59: Vue de dessus du prototype

Cette vue est composée des éléments suivants :

3. Boîte des connexions

4. Interrupteur de coupure d'alimentation générale
5. Barrettes de connexion
6. Pont redresseur
7. Cable alimentation AC
8. Transformateur 250V/14V AC
9. Flexible où loge le fils de communication entre la boîte de commande et la maquette mobile
10. Batterie d'alimentation
11. Capteur pour l'observation avant
12. Capteur pour l'observation arrière

3.8.3. Boîtier de commande

Afin de pousser la réalisation de notre prototype au plus proche de la simplicité d'utilisation, nous avons réalisé un boîtier de commande. Ce boîtier a pour but de permettre l'interaction entre l'utilisateur et son véhicule à assistance.

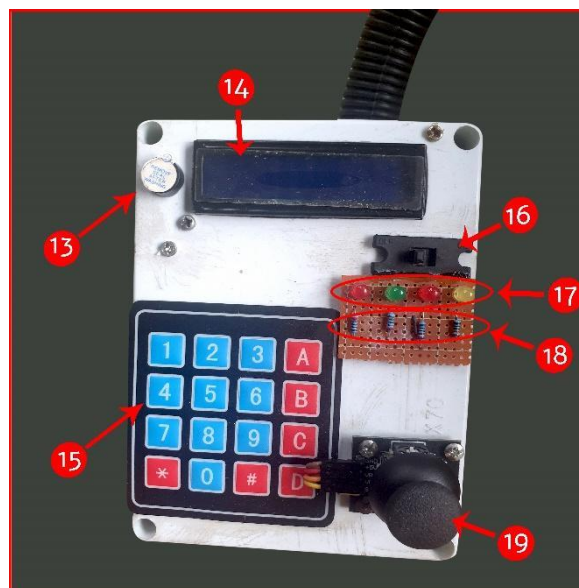


Figure 60: Face de la boîte de commande

Sur ce boîtier de commande nous trouvons les éléments suivants :

13. Buzzer pour l'alarme sonore
14. Écran LCD qui affiche des informations
15. Clavier matriciel pour la saisie de mot de passe
16. Interrupteur d'alimentation du système.
17. LEDs de signalisation

18. Les résistances pour LEDS, de valeur 220Ω pour ne pas endommager les broches d'alimentation Arduino

19. joystick pour le pilotage du système.

Avec le joystick on a la possibilité de commander la vitesse de fonctionnement du moteur dans les deux sens de marche. Pour cela, lorsque :

- Le joystick est vers l'avant, les moteurs tournent dans le sens normal, d'où la marche avant ;
- Le joystick est vers l'arrière, les moteurs tournent dans le sens inverse, d'où la marche arrière ;
- Le joystick est vers la droite, le moteur gauche tourne dans le sens normal, d'où la marche à droite ;
- Le joystick est vers la gauche, le moteur droit tourne dans le sens normal, d'où la marche à gauche.

Pour arrêter le moteur, on lâche le joystick qui se remet dans sa position initiale et la vitesse dépend de l'inclinaison de celui-ci.

3.8.4. Vue de dessous

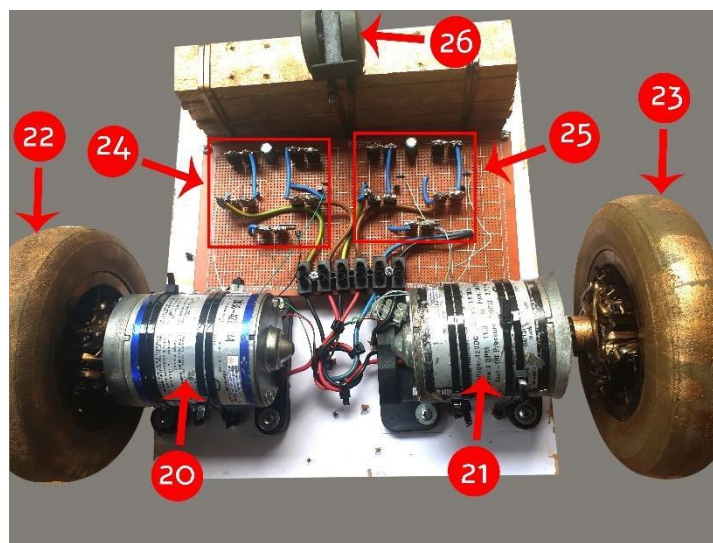


Figure 61: Vue de dessous du prototype

Cette vue comprend essentiellement :

- 20. Moteur A (moteur droit)
- 21. Moteur B (moteur gauche)
- 22. Roue droite

- 23. Roue gauche
- 24. Pont-H A pour contrôler le moteur A
- 25. Pont-H B pour contrôler le moteur B
- 26. Petites roues pour assurer l'équilibre.

3.8.5. Vue d'intérieure de la boîte de commande

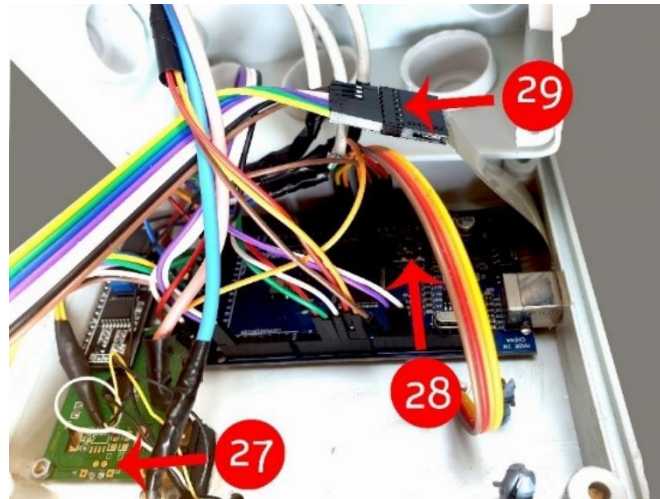


Figure 62: Vue d'intérieure de la boîte de commande

Dans la boîte de commande nous trouvons les éléments suivants :

- 27. Vue de dessous de l'afficheur LCD avec son module PCF8574
- 28. Carte Arduino MEGA
- 29. Fils de connexion pour différentes entrées et sorties à Arduino

3.9. Coût estimatif.

3.9.1. Coût estimatif de la réalisation du prototype

Hormis les frais de transport et les autres frais connexes ayant intervenu dans la réalisation, voici le coût total en dollars de la réalisation du prototype.

Tableau 8: Cout estimatif de la réalisation du système

N°	DESIGNATION & DESCRIPTION	QUANTIT ES	P.V.U EN \$	P.T EN \$	LIEU D'ACHAT
01	Plaque en bois MDF	1	5	5	Goma/RDC
02	Capteur d'ultrason	2	7	14	
03	Batterie à poudre 12v/7Ah	1	10	10	
04	Clavier matriciel 4x4	1	7	7	
05	Joystick pour Arduino	1	5	5	
06	Buzzer	1	2.5	2.5	
07	LEDs	5	0.15	0.75	
08	Arduino MEGA2560	1	30	30	
09	Afficheur LCD 16*02	1	15	15	
10	Fil de connexion male femelle-20cm pour Arduino	20	0.125	2.5	
11	Plaque d'expérimentation 120x240mm	1	3	3	
12	MOSFET IRF3205	10	2	20	
13	MOSFET IRF5210	8	2	16	
14	Transistor 2N2222	4	1	4	
15	Résistances 220 Ω / 0.25w	12	0.25	3	
16	Résistances 1K Ω / 0.25w	4	0.25	1	
17	Résistances 270 Ω / 0.25w	4	0.25	1	
18	Résistances 100 K Ω / 0.25w	2	0.25	0.5	
19	Condensateur 16v 1000 μ f	3	1	3	
20	Transfo 220V AC/14V DC	1	10	10	Goma/RDC
21	Pont redresseur	1	2	2	
22	Étain	3m	2	6	
23	Câble 2x2.5 mm ²	3m	1	3	
24	Flexible 5/8	1m	1.5	1.5	
25	Barrette connexion 10mm ² à 12 plots	2	2	4	
26	Barrette connexion 25mm ² à 12plots	1	4	4	
27	Boitier électrique 100x100x70	1	2	2	
28	Boitier électrique 150x120x70	1	3	3	
29	Vis à bois 4x30mm	10	0.15	1.5	
30	Vis à bois 4x20mm	20	0.1	2	
31	Rondelle plate pour vis	8	0,15	1.2	
32	Sert câble 2.5x200	20	0,1	2	
33	Sert câble 2.5x100	30	0,2	6	

34	Roue	2	5	10	
35	Piece pour fixation roue au moteur	2	10	20	
36	Moteur DC pour pompe	2	30	60	Bukavu/RDC
TOTAL			281.45 \$		

3.9.2. Coût estimatif pour la réalisation du projet à grande échelle

Hormis les frais de transport et les autres frais connexes, voici le coût estimatif en dollars pour la réalisation de ce projet à grande échelle.

Tableau 9: Cout estimatif de la réalisation du système à grande échelle

N°	DESIGNATION & DESCRIPTION	QUANTITES	P.V.U EN \$	P.T EN \$
01	Chaise roulante Manuelle d'occasion	1	150	150
02	Moteurs brushless 250W/36V	2	300	600
03	Batteries (8Slipo,1000mAh, 4packs)	4	88	352
04	Capteur de distance laser	2	160	320
05	Joystick pour fauteuil	1	62	62
06	Arduino MEGA2560	1	30	30
07	Afficheur LCD 4*20	1	25	25
08	Module de puissance/contrôleur	2	40	80
09	Autres fournitures			100
TOTAL				1719 \$

3.10. Conclusion partielle

Dans ce chapitre, qui est le dernier de notre travail, nous venons de finaliser la conception de notre système pour le vélo paraplégique. Nous avons opté pour l'utilisation d'Arduino méga comme microcontrôleur. Ce dernier montre que la structure a un cerveau avec une petite mémoire qui nous permet de garder (mémoriser) le programme du système. Par la suite, à chaque fois que le système est mis sous tension, ce programme est exécuté.

Ce chapitre nous a non seulement permis de décrire la partie conceptuelle de notre système mais également la partie implémentation ; il nous a permis de faire comme choix le moteur Brushless qui est le moteur d'assistance à la propulsion et qui répond à notre application tel que nous l'avons mentionné au chapitre précédent sur le type de transmission voulue. Nous avons également montré qu'il ne suffit pas d'avoir les moteurs et l'Arduino seuls étant donné que le

cerveau/microcontrôleur, de lui-même, ne peut pas commander les moteurs car il ne peut que fournir un très faible courant ; d'où nous avons fait recours à un module de puissance qui est commandable par le microcontrôleur. Pour le contrôle de moteur brushless, nous avons juste choisi un contrôleur existant sur le marché mais pour notre prototype, nous avons conçu notre propre module de puissance appelé communément pont H.

Nous avons également dimensionné le stockage du système, la capacité du stockage a été obtenue après fixation de certaines hypothèses dont nous nous sommes choisis : une autonomie de 30km de marche sans arrêt pendant 7 heures du temps de l'utilisation du système. Nous avons un peu surdimensionné le stockage étant donné que tout l'ensemble a été conçu en tenant compte de ce compartiment comme source d'énergie. Nous avons clôturé par la réalisation du prototype, en présentant le schéma global du système (dessin fait avec le logiciel Proteus), de la maquette et sa description générale.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail est un rapport escomptant l'amélioration du quotidien d'une personne ayant un handicap moteur. Le système que nous avons mis au point a pour rôle d'améliorer les possibilités de mobilité de cette dernière en augmentant ainsi son autonomie dans la vie quotidienne. Nous avons commencé par détailler les types des fauteuils roulants et leurs différentes technologies. Les fauteuils roulants manuels ou électriques sont généralement utilisés pour répondre aux besoins de déplacement des personnes à mobilité réduite mais l'application de méthodes issues de la robotique mobile aux fauteuils roulants électriques a donné naissance à un nouveau type de fauteuils roulants dits « intelligents ». Ensuite, au deuxième chapitre nous avons présenté la modélisation du vélo pour handicapé, nous avons compris que ; La trajectoire du vélo pour paraplégique est directement liée au signe et à la valeur de la tension appliquée aux deux roues motrices. Dans le dernier chapitre nous avons effectué la conception de notre système en décrivant les éléments qui apparaissent dans la réalisation du projet suivis de leurs caractéristiques. Cette conception s'est acquittée par la fabrication physique d'une maquette grâce à laquelle les essais ont été réalisés. Les études et tests du système se sont effectués grâce à la technique expérimentale de sorte à respecter les manœuvres dont une PVH a besoin.

Vu les résultats obtenus à travers ce travail, en rapport avec les questions sur lesquelles a porté la problématique et les hypothèses de ce travail, nous pouvons affirmer que :

- ❖ Il est possible de modifier le vélo pour paraplégique existant dans la ville de Goma grâce aux avancements technologiques. Nous disposons des compétences techniques seulement on a encore un problème de disponibilité des quelques composants sur le marché local. Nous certifions qu'il est bel et bien possible de rendre électrique le fauteuil roulant (vélo pour handicapé) existant.
- ❖ L'implémentation d'un système à laquelle on joint une protection en sécurité et la perception de l'environnement suite aux différents types de capteurs, En effet, les recherches que nous avons menées nous ont permis de nous rendre compte que pour des systèmes destinés à un usage de capteurs, il est mieux d'utiliser des capteurs à plus haut de gamme (donc précis) au lieu d'utiliser des capteurs moins précis. Cela permet de gagner en performance d'un point de vue précision et même dans ces conditions non optimales. Ainsi l'intelligence du vélo réside dans sa capacité à percevoir l'environnement grâce à

différents types de capteur et mini d'un système de sécurité par mot de passe en assurant une sécurité de reconnaissance de son utilisateur.

Pour atteindre ledit objectif, il nous a fallu réaliser 3 objectifs spécifiques. Le premier objectif, concernant la prise de contact avec le PVH a été mené à terme. Il a débouché sur le constat selon lequel, le fauteuil n'est pas bien conçu étant donné que ça provoque ; Fatigue exagérée, Dépression, Anxiété (Déprimé)... en bref nous pouvons dire que c'est une idée mal conçue. Ce problème est résolu en cherchant comment le rendre autonome, en suite cet objectif nous a permis de comprendre les manœuvres dont un paraplégique en a besoin. Cela a contribué à avoir l'idée claire des 4 manœuvres qui sont : avant, arrière, gauche, droite. Alors pour l'intégration de ce 4 manœuvre dans le but d'amélioration de l'autonomie et sans faire recours à la tierce personne, on doit faire recours à un système d'aide à propulsion en faisant usage de moteurs électriques. Alors cette amélioration sur la modélisation du fauteuil ordinaire conduit forcément à la modification de sa structure, ce qui fait partie du second objectif de ce travail qui consistait à corriger la structure du vélo ordinaire pour l'intégration de la solution aux failles observées.

Le troisième objectif, consistant à programmer une plateforme Arduino de sorte à respecter les 4 manœuvres énumérées là-dessus a été atteint. D'abord à travers l'automatisme fourni par les moteurs ont permis d'intégrer ces manœuvres, mais aussi en faisant usage de capteur de détection d'obstacle et l'insertion d'un système de sécurité par mot de passe nous avons su optimiser un fauteuil roulant manuel (vélo pour handicapé en vélo électrique intelligent)

Les 3 objectifs spécifiques ayant été atteints, nous estimons avoir mis au point un système complet pour remédier au problème d'autonomie de cette catégorie de personnes qu'on oublie souvent dans notre société.

Ce domaine est très intéressant et surtout très vaste, c'est pourquoi l'ouverture de ce sujet est très large. Ainsi, aux futurs étudiants, qui comptent améliorer ce travail ou tout simplement œuvrer dans le même domaine, nous pouvons suggérer :

- D'implémenter de plus aux commandes par joystick une autre possibilité de commander le vélo par voix ou un téléphone pour faire de mouvement, étant donné qu'on peut avoir une personne qui n'a pas des membres supérieurs ;
- D'étudier minutieusement le problème de déplacement en considérant l'accélération lors de déplacement en plat et en pente pour que le système soit plus performant.

- D'étudier une autre possibilité de charger les batteries afin d'assurer l'autonomie du vélo. Voir installer des panneaux solaires orientables automatiques à l'arrière du fauteuil afin de rallonger l'autonomie du vélo intelligent électrique.

Bibliographie

- [1] G. BIAKABAKANA, « SITUATION DES PERSONNES HANDICAPEES AU CONGO ».
- [2] Repository on disability Rights in Africa (RODRA), «Revised Contry Report: DRC (2019), Par Pierre Olivier Lobe, disponible sur:<https://www.rodra.co.za>».
- [3] D. DEPANNEMAECCKER, Mémoire:Dispositif de contrôle d'un fauteuil roulant électrique par oculométrie,interface cerveau-machine et système hybride.p 8-12, ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES.
- [4] S. Christophe, Thèse : Cinétique et énergétique de la propulsion en fauteuil roulant manuel, UNIVERSITE BLAISE PASCAL, 29 mars 2010.
- [5] B2B-Infos, « Quels sont les différents types de fauteuils roulants disponibles sur le marché ?».
- [6] ISO 9999, « Produits d'assistance pour personnes en situation de handicap,sur <https://handicat.com/classif4-num-03-06-05.html>».
- [7] University of Da nang, Project: Modeling and optimization of the wheelchair cushion for handicapped to improve the comfort and prevention ulcers pressure from a medical point of view., February 2018.
- [8] ResearchGate, « Le Fauteuil Roulant Manuel : schéma et nomenclature simplifiée».
- [9] Ottobock FR, « Caractéristiques : Fauteuils roulants », *Quelles sont les caractéristiques d'un fauteuil roulant ?*
- [10] M. O. Ahcene, Mémoire de Master : Conception d'une chaise électrique monte escalier, Université Ferhat Abbas-Sétif, juin-2016.
- [11] Fondation Garches, « Fauteuils châssis rigide, sur <https://www.fauteuilroulant.org/show/68>».
- [12] Flandre Médical - Place Saint Piat, « https://www.flandre-medical.com/joker-r2---fauteuil-roulant-rigide-_cd1_377.html».
- [13] Le Spécialiste Français du Fauteuil Roulant, «<https://monfauteuilroulant.com/Fauteuils-Roulants/Fauteuils-Roulants-Actifs/Fauteuil-Roulant-TRIGO-S-VERMEIREN> ».
- [14] Le Spécialiste Français du Fauteuil Roulant, «<https://monfauteuilroulant.com/Fauteuils-Roulants/Fauteuil-roulant-standard/Fauteuil-Roulant-VERMEIREN-V500>».
- [15] MedicalExpo, « Motorisation pour fauteuil roulant électrique:<https://www.medicalexpo.fr/prod/aat/product-84583-543697.html>».
- [16] Refdoc, «Fauteuil roulant électrique,» *Fauteuil roulant électrique : comment le choisir ?*.

- [17] Sofamed, «Chaise motorisée Miniflex - Fauteuil roulant électrique».
- [18] Medinov, «Spécialiste du Handicape et du Maintien à Domicile
<https://www.medinov.fr/avec-verticalisation/1209-fauteuil-q700-up.html>».
- [19] Logo Silver, « TOPCHAIR : monte les escaliers,sur: <https://www.logo-silver.fr/produits/topchair/>,» 2022.
- [20] Monte escalier, « Fauteuil Roulant Monte Escalier : Possibilités, Limites & Prix».
- [21] M. Sahnoun, Thèse de doctorat : Conception et simulation d'une commande à retour d'effort pour fauteuil roulant électrique, Univ de Lorraine, October 2007.
- [22] L. I Iezzoni, E.P McCarthy,R.B Davis,H Siebens «Mobility difficulties are not only a problem of old age.JOURNAL Gen Intern Med. 2001;16(4):235–43.,» .
- [23] K. Abdelkader & M. Abdessamie, Mémoire Master : Modélisation et commande d'un fauteuil roulant électrique par signaux EMG, Ecole Nationale Supérieure de Technologie Département : Génie électrique et informatique industrielle, 2021.
- [24] F.LEISHMAN, Thèse de doctorat : Conception de fonctionnalités d 'assistance robotisée à la mobilité sous contraintes d 'acceptabilité et d 'adaptabilité,Univ.de lorraine, 2012..
- [25] G.BOURHIS, Evaluation de Performance et Systèmes d'Aide à la Personne, Lab.LCOMS, 2013..
- [26] Researchgate, “https://www.researchgate.net/figure/Exemple-de-design-de-la-plate-forme-de-simulation_fig3_294533145. Consulté le [9 octobre 2022].”.
- [27] ErgoConcept, «Embout de Joystick pour Fauteuil Roulant».
- [28] Sunrise Medical, «Commande occipitale Dual Pro™ par Switch-It».
- [29] G. OUMAIMA, Fauteuil Roulant à Commande Oculaire pour Handicapés Physique,Master en Automatique et informatique industriels, Université Mohamed Khider Biskra, 1er septembre 2020.
- [30] Futura-Sciences, « Un fauteuil roulant qui se pilote avec la langue », *La langue en guise de télécommande*.
- [31] electrotoile, «Shield L293D - Raccordement et programme Arduino pour varier la vitesse d'un moteur DC».
- [32] Carnet du maker, « Comment mesurer une distance,» *Mesurer une distance avec un capteur à ultrason HC-SR04 et une carte Arduino / Genuino*, 2016.
- [33] Elecfreaks, Ultrasonic Ranging Module HC-SR04, vol. 3 pages .

- [34] Prof. Olivier BARAKA & Mme Gertrude NZIGIRE, Formation : l'ingénierie des idées et la gestion des projets, ULPGL-GOMA, juillet-2022.
- [35] Atelier scientifique collège Jean Renoir (cher), Le fauteuil roulant à commande gestuelle, Paris, 2017.
- [36] A4 Technologie:Concepteur et fabricant de matériels pédagogiques, «mBot Explorer-Makeblock Education».
- [37] Sequence_Mbot_Capteurs : Comment fonctionne le robot pédagogique Mbot.
- [38] Bertrand Boyer & Eddie Smigiel,Entreprise: OpenClassrooms, «Estimez la position du robot - Développez un robot mobile connecté par Bluetooth».
- [39] MERN, Secteur de l'innovation et de la transition énergétiques, « Ecomobile - La force aérodynamique ».
- [40] Bomblé Cyril & Lutgen Corentin, Master Ingénieur Civil Mécanicien : Dossier technique Projet Intégré de Mécanique du Fauteuil roulant à assistance ergonomique, Université de Liège - Faculté des sciences appliquées, Septembre 2013 - Juin 2014.
- [41] Cours et Exercices, « Chaînes de transmission ».
- [42] OZO, « Kit électrique 750W batterie cadre 48V pour transformer son vélo en VAE ».
- [43] Ekeete.com, « Fonctionnement d'un vélo électrique et ses éléments ».
- [44] OZO, « MOTEUR 250W ENTRAXE 155MM ».
- [45] Made-in-china, « Cheap auto-apprentissage e cargaison de bonne qualité Bicycle Contrôleur de moteur BLDC ».
- [46] Alloschool,P.E LEROY, TP Pilotage d'un moteur à courant continu.
- [47] Circuit Basics, HOW TO CONTROL DC MOTORS WITH AN ARDUINO AND AN L293D MOTOR DRIVER.
- [48] LOCODUINO : Dominique, Guillaume, Jean-Luc, « La PWM : Qu'est-ce que c'est ?» *Piloter un moteur*, 2 février 2016.
- [49] Regivia, « Dépenses énergétiques caloriques en kilocalories consommées pour la course à pied, le Running, footing ou jogging », *En savoir plus sur la cour à pied*.
- [50] L'express, « Les sports qui font brûler le plus de calories ».
- [51] GO TRONIC, « Cartes programmables, prototypage, capteurs ».

Annexes

Annexe 1

Code MATLAB :

```

clc
m = 120+17+4*2+0.5*2+4+1; % Masse totale : personne + chaise
g = 9.79; % Accélération gravitationnelle à Goma
theta = (14/100)*(pi/4); % Angle de la pente [%] -> [rad]
v = 5/3.6; % Vitesse [km/h] -> [m/s]
rayon = (24/2)*2.54*(10^(-2)); % Rayon de la grande roue
F_grading = m*g*sin(theta) % Force de gravité s'opposant au mouvement (la
force de traînée)
Puissance_res = F_grading*v; %Puissance total
Puissance_moteur = 0.80*Puissance_res %Puissance moteur
C = F_grading*rayon*0.8 % Couple résistant total, multiplié par 0,8 qui est
le pourcentage maximum d'aide disponible

```

Annexe 2

Code MATLAB :

```

clc
m = 120+17+4*2+0.5*2+4+1; % Masse totale : personne, chaise, 2*moteur,
2*régulation moteur,batterie et électronique
g = 9.79; % Accélération gravitationnelle à Goma
L = 0.425; % Longueur de la chaise
c = (2/5)*L; % Distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation de la
grande roue
b = (3/2)*c; % Distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation de la
petite roue (schéma:dimensionnement moteur, modèle complexe)
h_assise = 0.475; % Hauteur de l'assise
h_hanches = 0.2; % Centre de gravité considéré au niveau des hanches de la
personne
h = h_assise + h_hanches; % Hauteur totale du centre de gravité
theta = (10/100)*(pi/4); % Angle de la pente [%] -> [rad]
v = 5/3.6 % Vitesse [km/h] -> [m/s]
rayon = (24/2)*2.54*(10^(-2)) % Rayon de la grande roue
F_paliers = 0.8*rayon % Force de frottement au niveau des paliers
F_grading = m*g*sin(theta) % Force de gravité s'opposant au mouvement
F_aero = 1.573529412*(v^2)-0.09117647059*v+0.1176470588 % Force de traînée
W_f = m*g*(c/L)*cos(theta)-F_aero*(h/L)-m*g*sin(theta)*(h/L)
W_r = m*g*(b/L)*cos(theta)+F_aero*(h/L)+m*g*sin(theta)*(h/L)
F_rl = 0.02*(W_f+W_r) % Forcé pour prendre en compte l'écrasement des pneus
F_res = F_aero+F_paliers+F_rl+F_grading % Force totale
Puissance_res = F_res*v %Puissance total
Puissance_moteur = 0.80*Puissance_res %Puissance moteur
C = F_res*rayon*0.8 % Couple résistant total, multiplié par 0,8 qui est le
pourcentage maximum d'aide disponible

```

Annexe 3

Voici le code Arduino complet du vélo pour paraplégique

```

/* est pour la validation du mot de passe
/# est pour réinitialiser l'entrée du mot de passe

//Le code de VALIDATION est: 1111

////////////////////////////////////

//Bibliothèques à avoir nécessairement et à inclure comme ici pour que ça fonctionne
#include <Password.h> //http://www.arduino.cc/playground/uploads/Code/Password.zip
#include <Keypad.h> //http://www.arduino.cc/playground/uploads/Code/Keypad.zip
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

////////////////////////////////////

//GESTION DU LCD
/* Lire sur le dos du LCD si son circuit intégré est un shift register
   de type PCF8574 (adresse 0x20) ou PCF8574A (adresse 0x38) ou PCF8574T (adresse 0x27)
*/

#define I2C_ADDR 0x27 //Car on a utilisé le PCF8574 (comme shift register du LCD pour la simulation)

// Broches du LCD -----> Broches du I2C (register)
#define BACKLIGHT_PIN 3
#define En_pin 2

```

```
#define Rw_pin 1
#define Rs_pin 0
#define D4_pin 4
#define D5_pin 5
#define D6_pin 6
#define D7_pin 7

LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR, En_pin, Rw_pin, Rs_pin, D4_pin, D5_pin, D6_pin, D7_pin);

//CREATION DES MOTS DE PASS

Password password = Password( "1111" );//Mot de passe d'ouverture de la porte et d'activation
d'alarme

//FORMATAGE DU KEYPAD (ON LE DEFINIT COMPLETEMENT)

const byte ROWS = 4; // 4 lignes pour le keypad
const byte COLS = 4; // 4 Colonnes pour le keypad
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'Y', '0', 'R', 'D'}
};

byte rowPins[ROWS] = { 22, 23, 24, 25 }; // Correspondance entre broches des lignes du keypad (par
ordre) avec celles d'Arduino.

byte colPins[COLS] = { 26, 27, 28, 29 }; // Correspondance entre broches des colonnes du keypad (par
ordre) avec celles d'Arduino.

//AFFECTATION DES BROCHES D'ARDUINO AUX DIFFERENTS ELEMENTS DU MONTAGE

//Lampes de signalisation

const int enMarche = 53;

const int lampeGreen = 52;..... Il y a suite
```

Annexe 4

Datasheet-IRF3205

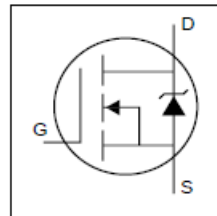
International
IR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DSS} = 55V$
 $R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$
 $I_D = 110A^{\text{⑤}}$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	110 ⑤	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	80	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

01/25/01

Annexe 5

Datasheet-IRF5210



IRF5210

TO-220AB

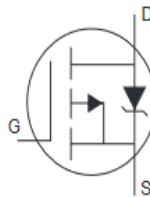


- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated

Power MOSFET

Description

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



$$V_{DS} = -100V$$

$$R_{DS(on)} = 0.06\Omega$$

$$I_D = -40A$$

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-40	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-29	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{a}}$	-140	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{a}}$	780	mJ
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{a}}$	-21	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{a}}$	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{a}}$	-5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

