



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Republique Algerienne Democratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master Académique**

En : **Electronique**

Spécialité : **Instrumentation Electronique**

Par : - **DAKHLI Farida**

- **SAHIRI Mohammed Anis**

Sujet

Développement d'une chaise roulante à base de moteurs Brushless

Présenté et soutenu publiquement, le 14 /06 /2021, devant le jury composé de :

M/ GIZA DOUADI

MCB

Président

M/ MAAMRI MAHMOUD

MCB

Rapporteur

Mme/ GOUDER SORAYA

MCB

Examineur 1

REMERCIEMENTS

*Avant tout on tient nos remerciements à notre dieu ALLAH
tout puissant de nous avoir donné la foi, la patience et le
courage.*

*A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement
notre promoteur M. MAAMRIE pour m'avoir confié ce thème
et m'avoir soutenu tout au long de notre travail ainsi que son
assistance et ses précieux conseils.*

*Nos remerciements également tous les enseignants de
département d'électrique qui ont contribué à ma formation.
Ainsi tous les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait
acceptent de juger mon modeste de travail.*

*Que tous ce qui ont contribué de près ou de loin à
l'aboutissement de ce travail soient remercié.*

DEDICACE

*Je Tiens d'abord à remercier le bon Dieu de m'avoir aidé à
réaliser ce mémoire*

Que je dédie a :

A la prunelle de mes yeux, celle qui m'a soutenu surtout avec son

Dou 'a

Jour et nuit pour qu'elle me voit au sommet et comme une étoile,

À la source de la Douceur.

A toi ma très cher mère.

*A ma personne qui a sacrifié sa vie pour moi, et qui a pris le défi
pour*

mes études.

Et mas éclairé le chemin de ma réussite

A toi mon très cher père

*A mes chers frères et mes chères sœurs et cousines Qui sont
toujours à mes côtés et qui m'ont soutenu durant parcours
universitaire.*

A tous mes amies

A mon binôme

TABLES DES MATIÈRES

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
DEDICACE	
TABLE DES MATIERE	
TABLE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATION	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Généralité sur les chaises roulantes électriques	2
I.1 Introduction	2
I. 2 Généralité sur les chaises roulantes	2
I. 2.1 Les origines du fauteuil roulant électrique	2
I. 2.2 Définition d'une chaise roulante	2
I.2.2.1 Les différents types des chaises roulantes	3
I.2.2.2 Une chaise roulante à pousser	3
I.2.2.3 Chaise roulante à propulsion manuelle	3
I.2.3 Description d'un fauteuil roulant électrique	4
I.2.3.1 Les différents types du fauteuil électrique	4
I.3 Généralités concernant le fauteuil roulant électrique	6
I.3.1 La manipulation	7
I.3.1.1 Le positionnement	7
I.3.2 Les critères de choix du fauteuil roulant électrique	7
I.3.2.1 Critères personnels	8
I.3.2.2 Critères environnementaux	8
I.3.2.3 Critères techniques	8
I.4 Les Fauteuils roulants intelligents	9
I.4.1 Le projet de VAHM	9
I. 4.2 Projet WAD « WHEELCHAIR ATTRACTOR DYNAMICS »	10
I. 5 Conclusion	11
CHAPITRE II : Etude comparatives entre les moteurs	12
II.1 Introduction	12
II.2 Moteur à courant continu (DC)	12
II.2.1 Vue d'ensemble	12

II.2.1.2 L'inducteur	12
II.2.1.3 L'induit	12
II.2.1.4 Collecteur et balais	12
II.2.2 Principe de fonctionnement	13
II.2.3 Différents type de moteurs à courant continu	14
II.2.4 Application au moteur à courant continu	14
II.2.5 Avantages et inconvénients	14
II.3 Le moteur brushless	15
II.3.1 Mise en marche	16
II.3.2 Régulation de la vitesse du moteur	16
II.3.3 Intérêts des moteurs sans balais (brushless)	17
II.3.3.1 Avantage des moteurs sans balais (brushless)	17
II.3.3.2 Inconvénient des moteurs sans balais (brushless)	17
II.3.4 Utilisation	17
II.3.5 Anatomie BLDC	18
II.3.6 Disposition des capteurs de hall	18
II.3.7 Principe de fonctionnement d'un moteur brushless	19
II.3.7 .1 Architecture et représentation	20
II.3.8 Les capteurs à effet Hall	21
II.3.8.1 Historique	21
II.3.8.2 Principe de fonctionnement	21
II.3.8.3 Applications des capteurs à effet hall	22
II.3.9 Onduleur	22
II.3.9.1 La logique de commande de l'onduleur	23
II.3.9.2 La commutation électrique	24
II.3.10 Les constantes de vitesse et de couple dans un BLDC	25
II.4 Moteur pas à pas	27
II.4.1 Moteur à aimants permanents	28
II.4.1.1 Constitution	28
II.4.1.2 Fonctionnement	28
II.4.1.3 Le moteur bipolaire	29
II.4.1.4 Alimentation	30
II.4.2 Moteurs à deux phases (ou bipolaire)	30

II.4.2.1 Moteurs à quatre phases (ou unipolaire)	31
II.4.2.2 La différence entre pas à pas et brushless	31
II.5 Etude comparative entre moteur à courant continue et brushless	31
II.6 Conclusion	33
CHAPITRE III : Conception et réalisation	34
III.1 Introduction	34
III.2 Présentation de notre Fauteuil roulant électrique	34
III.3 Partie commande	35
III.3.1 Synoptique d'un fauteuil roulant électrique	36
III.3.2 Principe de fonctionnement du joystick	37
III.3.2.1 Extractions des signaux délivrés par le joystick	37
III.4 Partie puissance	38
III.4.1 Pont en H	39
III.4.2 Principe de fonctionnement	39
III.4.3 Commande du pont	40
III.4.4 Utilisation avec les moteurs à courant continu	41
III.4.4.1 Description des signaux PWM	42
III.4.4.2 Taux du PWM	42
III.4.4.3 Allure du courant	43
III.4.5 Les motoréducteurs	44
III.5 Contrôleur de vitesse (ESC)	45
III.5.1 Variation de la tension	45
III.5.1.1 La position du moteur	46
III.5.1.2 Commutation du courant	46
III.5.2 La simulation	47
III.5.2.1 Logiciel de simulation PROTEUS	47
III.5.2.2 Simulation d'un ESC	47
III.6 Conclusion	48
CONCLUSION GENERALE	49

LISTE DES FIGURES ET
TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Chaise roulante	2
Figure I.2 : Chaise roulante à pousser	3
Figure I.3 : Chaise roulante à propulsion manuelle.	4
Figure I.4 : fauteuil électrique pliable.	4
Figure I.5 : Fauteuil intérieur.	5
Figure I.6 : Fauteuil extérieure.	5
Figure I.7 : Fauteuil verticalisateur	6
Figure I.8 : Fauteuil à hauteur variable	6
Figure I.9 : Le projet de VAHM	9
Figure I.10 : Le projet de WAD	10
Figure II.1: Description d'un moteur à courant continu.	13
Figure II.2 : Principe de fonctionnement.	13
Figure II.3 : Description d'un moteur à courant continue.	14
Figure II.4 : Rotor d'un moteur à courant continu.	15
Figure II.5 : Vu intérieur d'une machine sans balais avec le positionnement des capteurs.	16
Figure II.6: Constitue des aimants permanents d'un moteur brushless.	18
Figure II.7 : Positionnement des capteurs.	19
Figure II.8 : Classification des moteurs électriques.	19
Figure II.9 : Bobinage du moteur brushless.	20
Figure II.11 : Bobinage d'un moteur BLDC	21
Figure II.11 : Capteur à effet hall.	21
Figure II.12 : Formes d'ondes à la sortie des capteurs à effet Hall.	22

Figure II.13 : Schématisation d'un pont onduleur.	22
Figure II.14 : Séquences de commutation du circuit de commande d'un moteur BLDC	24
Figure II.15 : Déphasage d'un flux magnétique.	25
Figure II.15 : Architectures d'un moteur brushless DC.	25
Figure II.16 : Champ magnétique dans un moteur BLDC.	26
Figure II.17 : Moteur pas à pas.	28
Figure II.18 : Principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas.	29
Figure II.19 : Moteur unipolaire.	29
Figure II.20 : Moteur bipolaire.	30
Figure II.21 : Moteur à deux phases.	30
Figure II.22 : Moteurs à quatre phases.	31
Figure III.1 : Le model de fauteuil à réaliser	35
Figure III.2 : Synoptique du fauteuil roulant éclectique	36
Figure III.3 : Fonctionnement de joystick sur l'axe Y	37
Figure III.4 : Signal délivré par le joystick à l'état « avant »	38
Figure III.5 : Commande du moteur par pont en H	39
Figure III.6 : Pont en H	39
Figure III.7 :Pont en H avec une branche active	40
Figure III.8 : Le moteur tourne a droite	41
Figure III.9 : Le moteur tourne a gauche	41
Figure III.10 : Signal PWM	42
Figure III.11 : L'allure de la tension moyenne	43

Figure III.12 : L'allure du courant	43
Figure III.13 : Moteur à courant continu associé à un motoréducteur du fauteuil	44
Figure III.14 : Schéma de câblage du moteur BLDC	
Figure III.15 : Contrôleur de vitesse (ESC)	45
Figure III.16 : Brushless avec capteur à effet Hall	46
Figure III.17 : Commutation des bobines du stator	47
Figure III.18 : Schéma synoptique de fonctionnement.	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Signaux du capteur et états des interrupteurs (rotation dans le sens horaire).	23
Tableau II.2 : Signaux du capteur et états des interrupteurs (rotation dans le sens antihorair).	23
Tableau II.3 : Etude comparative entre moteur courant continu et brushless.	32
Tableau III.1 : Caractéristique technique de notre fauteuil.	34
Tableau III.2 : Sens de rotation du moteur selon l'état des transistors	41

LISTE DES
ABBREVIATION

LISTE DES ABRREVIATION

BLDC	Brushless direct current
BLAC	Brushless alternative current
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
PWM	Pulse width Modulation
DC	Direct current
RPM	Révolution par minute
f.c.e.m	Force électromotrice
ECS	Electric Speed contrôler
IGBT	Insulated Gate bipolar Transistor
MOS	Metal Oxide semiconductor
HID	Human Interface Devices
VAHM	Véhicule autonome pour Handicapés Moteurs
WAD	Wheel chair Attractor Dynamics
FRE	Fauteuil roulant électrique

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Malgré une rapide évolution technologique dans le domaine de l'aide technique pour les personnes à fort handicap moteur, jusqu'aux années précédentes le fauteuil roulant électrique a base du moteur DC a joué un rôle très important dans la vie des handicapés.

Un nombre important de personnes handicapés ne peuvent pas utiliser un fauteuil électrique standard ou le conduisent difficilement. Pour permettre à ces personnes de se déplacer d'une manière autonome, des chercheurs se sont intéressés depuis plus de vingt ans à l'amélioration de l'interface homme-machine soit en améliorant les actions de l'utilisation sur le joystick classique du fauteuil, soit en implémentant de nouvelles interfaces de commande.

La problématique abordée dans ce projet consiste alors à améliorer les possibilités de mobilité de ces personnes, augmentant ainsi leur autonomie dans la vie quotidienne.

Notre objectif dans ce projet est de développer une chaise roulante pilotée par deux moteurs DC type brushless. Vu les performances de ce moteur et les avantages qu'il va apporter pour améliorer le confort des chaises roulantes nous sommes intéressés à développer une manette de commande facile à manipuler pour un bon guidage. Ces performances de la chaise ainsi réalisée seront étudiées lors des phases de test.

Le premier chapitre présente une classification des chaises roulantes en général et des fauteuils roulants particulièrement et présente aussi de fameux projets sur les fauteuils roulants intelligents.

Le second chapitre est consacré à une étude élaborée traitant les moteurs (DC, Brushless, pas à pas), il commence par la présentation puis le principe de fonctionnement et une étude comparative entre les trois moteurs.

Le troisième chapitre est intitulé conception et réalisation pour évaluer ce fauteuil roulant. Nous allons décrire le choix du fauteuil roulant électrique, la partie commande et la partie puissance et s'intéresser au choix matériels et logiciels. Nous concluons par la simulation du contrôleur de vitesse (ESC) par le logiciel de simulation PROTEUS.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR LES
CHAISES
ROULANTES ELECTRIQUE

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser tout d'abord aux l'évolution technologique des fauteuils roulants en détaillant les différents types des fauteuils roulants électrique et la description des fameux projets des fauteuils roulants intelligents.

2. Généralité sur les chaises roulantes

2.1 Les origines du fauteuil roulante électrique

A partir des années 1950, sont apparus les premiers fauteuils roulants électriques à l'usage des personnes souffrant de déficiences motrices sévères. Cependant, le fauteuil roulant manuel n'a pas été abandonné et son utilisation est restée très largement répandue comme en attestent les résultats des enquêtes « H.I.D. » réalisées en France, où la prévalence des utilisateurs de fauteuils roulants électriques et manuels dans la population générale était respectivement de 5,4 et de 59 personnes pour 10000 habitants [1].

2.2 Définition d'une chaise roulante

La chaise roulante est un dispositif médical classé parmi les aides techniques de déplacement. Il est utilisé pour améliorer l'autonomie aux personnes à mobilité réduite. La chaise roulante doit prendre en considération les spécificités de l'individu concerné, son environnement et ses besoins (sociaux, professionnels et loisir).



Figure I.1 : Chaise roulante

2.2.1 Les différents types des chaises roulantes

Ces dernières années, le développement de structures modernes et des matériaux légers comme le carbone et le titane a permis la conception d'une grande diversité de chaises roulantes toutes catégories confondues. Il en va de même pour la commande électrique qui peut se faire selon bien des procédés. Choisir la chaise roulante adéquate dépend de toutes sortes de facteurs mais avant tout de ce que vous voulez faire avec :

2.2.2 Une chaise roulante à pousser

Une chaise roulante à pousser est une chaise que vous ne pouvez pas propulser vous-même. Cette chaise est destinée aux personnes atteintes de handicaps souvent multiples. Il est déplacé en poussant les deux poignées au dossier de la chaise. [2]



Figure I.2 : Chaise roulante à pousser

2.2.3 Chaise roulante à propulsion manuelle

Une chaise roulante à propulsion manuelle est une chaise que vous pouvez propulser vous-même. Cette chaise permet un déplacement autonome. Il est propulsé en actionnant la main courante. [9]



Figure I.3 : Chaise roulante à propulsion manuelle.

2.3 Description d'un fauteuil roulant électrique

Les fauteuils roulants à propulsion par moteur électrique sont indiqués pour les personnes ne pouvant se déplacer seules en fauteuil roulant manuel. Ils permettent de retrouver une indépendance notamment au niveau des sorties, à l'extérieur du domicile. La conduite du fauteuil s'effectue par commande électronique mais parfois l'utilisation d'une commande spéciale est indispensable.



Figure I.4 : fauteuil électrique pliable.

2.3.1 Les différents types du fauteuil électrique

- **Fauteuil d'intérieur :** Pliant, il est moins volumineux qu'un fauteuil d'extérieur. Notons qu'il est cependant difficile et fatigant pour la tierce personne de le plier. Son

autonomie va de 10 à 16 km et sa vitesse est réglable de 0 à 6 km/h. On peut le mettre dans le coffre d'une voiture.



Figure I.5 : Fauteuil intérieur.

- **Fauteuil d'extérieur :** Non pliant, il est plus volumineux. Son autonomie va de 16 à 45 km et sa vitesse est réglable de 0 à 10 km/h. Ce fauteuil nécessite un moyen de transport adapté car on ne peut pas le mettre dans un coffre de voiture. Le diamètre de ses roues permet de franchir des seuils ou des petits obstacles.



Figure I.6 : Fauteuil extérieure.

- **Fauteuil verticalisateur :** La verticalisation permet de quitter la position assise pour se placer en position verticale. Elle permet également de mieux appréhender l'environnement et peut être important pour l'intégration sociale. Le fauteuil doit être équipé de cales genoux et d'une sangle au niveau du tronc.



Figure I.7 : Fauteuil verticalisateur

- **Fauteuil à hauteur variable :** Permet de lever l'utilisateur en position assise. Tout comme le verticalisateur il permet de mieux appréhender l'environnement et peut être important pour l'intégration sociale. Certains fauteuils électriques peuvent combiner verticalisation et hauteur variable en position assise.



Figure I.8 : Fauteuil à hauteur variable

3. Généralités concernant le fauteuil roulant électrique

Les fauteuils roulants électriques sont classés en 3 catégories suivant leur utilisation. Certains sont utilisés exclusivement en intérieur, d'autres en extérieur et enfin certains ont un usage mixte. [2]

3.1 La manipulation

Le système de commande le plus utilisé est le joystick, programmable au niveau de la sensibilité et de la vitesse. La conduite ne nécessite donc pas une grande amplitude de mouvement. Lorsque la préhension bi digitale est impossible on pourra utiliser une fourche de commande à la place du joystick. Ce sont alors les mouvements de l'avant-bras qui dirigent le fauteuil roulant électrique. On réduit la sensibilité de la commande pour s'adapter aux mouvements plus globaux que ceux des doigts. Les boules mentonnières, occipitales et la commande par contacteurs sont également d'autres alternatives.

Les fauteuils roulant électriques peuvent également être équipés d'une commande tierce-personne. Cette alternative non négligeable est utile lorsque la personne ne peut contrôler seule son fauteuil. L'entourage est alors sollicité pour utiliser la commande. [2]

3.1.1 Le positionnement

Les fauteuils roulant électriques de base incluent en règle générale les mêmes fonctions qu'un fauteuil roulant manuel confort. C'est-à-dire une variabilité au niveau de la profondeur et de la largeur de l'assise ainsi qu'une inclinaison du dossier seul ou de l'ensemble assise/dossier. On pourra également y rajouter des systèmes d'appui-tête ou de cale-tronc.

D'autres fauteuils incluent des changements de position plus élaborés à visé préventive ou de confort. On peut ainsi obtenir une position allongée ou une verticalisation complète en restant dans le fauteuil roulant électrique. Certains permettent une mémorisation de positionnements afin de faciliter l'utilisation. [2]

3.2 Les critères de choix du fauteuil roulant électrique

Dans l'article Fauteuils roulants : description, utilisation, critères de choix les auteurs classent les critères de choix en trois catégories. La synthèse de ces critères de choix permet d'obtenir un cahier des charges pertinent pour le choix du fauteuil roulant électrique. [9]

3.2.1 Critères personnels

- **Pathologie** : Il s'agit du premier élément à prendre en compte. Il faut considérer les contraintes liées à la pathologie et à son évolution.
- **Temps passé au fauteuil** : Le choix ne s'orientera pas de la même façon si la

personne utilise le FRE quotidiennement ou de façon ponctuelle.

- **Mode de propulsion :** Comme vu précédemment, il faut déterminer l'interface de commande adaptée, ou la possibilité d'installer une commande tierce-personne.
- **Morphologie :** Les fauteuils roulant électriques possèdent des réglages pour s'adapter à chaque individu.
- **Mode et habitudes de vie :** Le fauteuil roulant électrique doit s'adapter à la façon de vivre de la personne.
- **Age :** Il faudra songer aux besoins orthopédiques, au confort et au temps d'utilisation destiné au fauteuil.
- **Goûts du patient :** les auteurs rappellent ici l'importance de l'aspect esthétique pour le patient dans l'appropriation du fauteuil.
- **Prix :** Le choix du fauteuil roulant électrique doit être adapté aux ressources financières de la personne. Il peut être un frein à l'obtention du fauteuil roulant électriques idéal.

3.2.2 Critères environnementaux

- **Domicile et environnement extérieur :** Il s'agit des lieux d'utilisation du fauteuil roulant électriques, cet aspect est donc primordial dans le choix. De plus, il faudra également noter les contraintes environnementales que subira le fauteuil, par exemple selon que la personne habite en campagne ou en ville.

3.2.3 Critères techniques

- **Poids :** Il faut peser le bénéfice de chaque accessoire afin de limiter le poids du fauteuil roulant électriques.
- **Confort :** Rarement oublié, cet élément est primordial pour favoriser l'utilisation du fauteuil. Il sera propre à chaque personne.
- **Roulement :** Il s'agit de bien choisir le type de roues(gonflable ou pleine), leur mobilité et la sensibilité de la commande.
- **Compacité stabilité, problèmes d'accessibilité.**
- **Robustesse :** Le fauteuil roulant électrique étant l'aide au déplacement, il faut qu'il soit fiable.
- **Autonomie**

Service après-vente, distribution : Le critère de réactivité et de disponibilité du service après-vente, distribution sera primordial dans le quotidien de la personne en situation de handicap pour qu'elle puisse retrouver son indépendance rapidement lorsqu'il y a un problème.

Le choix du fauteuil roulant électrique est donc complexe de part la multitude des facteurs à prendre en compte. Il s'agit souvent d'établir des compromis afin d'obtenir le fauteuil roulant électrique le plus adapté. La nécessité d'effectuer plusieurs essais afin d'affiner le choix.

4. Les Fauteuils roulants intelligents

4.1 Le projet de VAHM

Le projet VAHM (Véhicule autonome pour Handicapés Moteurs) [3] a pour but de proposer aux personnes ayant un handicap physique lourd de se déplacer facilement. L'interface est composée d'un bouton et d'un cadran indiquant successivement huit directions de déplacement. Lorsque l'utilisateur veut suivre une direction, il doit attendre qu'elle s'affiche sur le cadran et presser le bouton à ce moment. Lorsqu'il relâche le bouton, le fauteuil s'arrête et il faut choisir une nouvelle direction.

Ce système présente l'avantage de ne nécessiter qu'un seul type d'action de la part de l'utilisateur, mais a l'inconvénient d'être lent et fastidieux. C'est pourquoi le fauteuil doit se déplacer de la manière la plus autonome possible [4]. Pour cela, il est équipé de capteurs qui collectent des données sur son environnement et d'agents réactifs qui lui permettent des comportements simples (longer les murs, éviter les obstacles, etc.).



Figure I.9 : Le projet de VAHM

Lors de ce projet, un simulateur a été développé. Celui-ci permet de remplacer les expérimentations avec un véritable fauteuil roulant par des expérimentations informatiques, plus rapides, donnant des résultats sensiblement proches.

4.2 Projet WAD « WHEELCHAIR ATTRACTOR DYNAMICS »

L'architecture de commande du Projet WAD (Wheel chair Attractor Dynamics) [5] est installée actuellement sur un fauteuil roulant électrique modèle CRUISER de chez INVACARE. Ce fauteuil est équipé d'un système DX de base [6] (joystick et module de puissance), auquel nous avons rajouté le module DX Key, qui permet un interfaçage aisé via le port parallèle d'un ordinateur portable. En mode manuel, le pilote impose au moyen du joystick des commandes de vitesse et de direction qui sont transmises au module de puissance et à la motorisation via le bus DX. En mode automatique, les capteurs de proximité infrarouge et les codeurs incrémentaux renseignent sur les contraintes de l'environnement [7], ainsi que sur l'orientation et la distance de la cible par rapport à la position courante du véhicule.

Ces informations proprioceptives (codeurs incrémentaux) et extéroceptives (capteurs de proximité) permettent de calculer des commandes de vitesse et de direction qui sont transmises au module de puissance via l'interface DX Key sans avoir à manipuler le joystick [8]. Le fauteuil atteint seul sa destination. A tout moment le pilote peut passer du mode automatique au mode manuel et inversement.

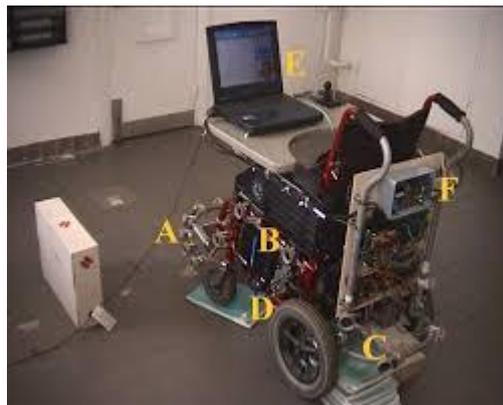


Figure I.10 : Le projet de WAD

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les chaises roulants et les fauteuils roulants électriques et leurs caractéristiques, les types de chaise roulant et les fauteuils roulants électriques ainsi que les différents projets qu'ont été réalisé sur les fauteuils roulants intelligents en particulier comme par exemple le projet de VAM et le projet de WAD.

CHAPITRE II
ETUDE COMPARATIVES
DES MOTEURS

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude élaborée traitant le moteur à courant continu, le moteur brushless et le moteur pas à pas ; et présentant les caractéristiques de chacun avec une indication de la différence entre les trois.

2. Moteur à courant continu (DC)

La machine à courant continu est un convertisseur d'énergie, totalement réversible, elle peut fonctionner soit en moteur, convertissant de l'énergie électrique en énergie mécanique, soit en génératrice, convertissant de l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans les deux cas un champ magnétique est nécessaire aux différentes conversions. Cette machine est donc un convertisseur électromécanique. [10]

2.1 Vue d'ensemble

La machine à courant continue comporte les parties principales suivantes :

- Une partie fixe appelée STATOR qui aura le rôle d'inducteur.
- Une partie mobile appelée ROTOR qui aura le rôle d'induit.
- Une liaison rotor-éléments extérieurs à la machine appelée COLLECTEUR. [10]

2.1.2 L'inducteur

Il est formé soit d'aimants permanents en ferrite soit de bobines placées autour des noyaux polaires. Lorsque les bobines sont parcourues par un courant continu, elles créent un champ magnétique dans le circuit magnétique de la machine notamment dans l'entrefer, espace séparant la partie fixe et la partie mobile, où se situent les conducteurs. Ce flux et ce champ sont orientés du pôle Nord vers le pôle Sud. [10]

2.1.3 L'induit

Le noyau d'induit est en fer pour canaliser les lignes de champ, les conducteurs sont logés dans des encoches sur le rotor, deux conducteurs forment une spire. [10]

2.1.4 Collecteur et balais

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivres isolées, disposées sur l'extrémité du rotor, les balais portés par le stator frottent sur le collecteur. [10]

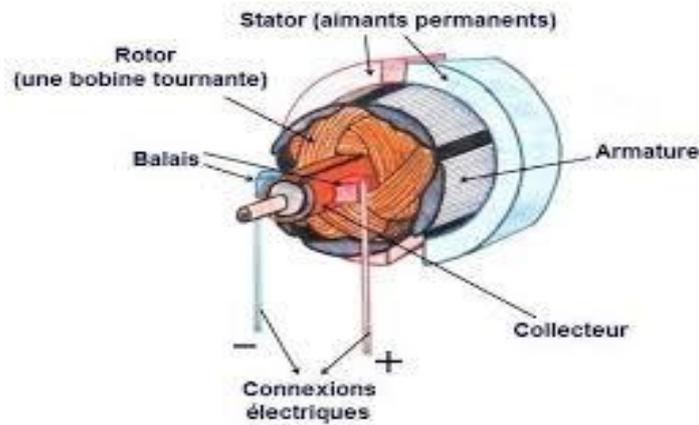


Figure II.1: Description d'un moteur à courant continu.

2.2 Principe de fonctionnement

Une machine à courant continu possède un nombre N de conducteurs actifs au niveau de l'induit. Le flux utile sous un pôle créé par l'inducteur est exprimé en webers, et N représente la fréquence de rotation de l'arbre du rotor, en tours par seconde.

Deux cas peuvent se présenter :

- Soit un conducteur est à la fois traversé par un courant électrique et plongé à l'intérieur d'un champ magnétique, il est alors soumis à une force électromagnétique.
- Soit un conducteur est à la fois en mouvement de rotation et plonge à l'intérieur d'un champ magnétique, il est alors le siège d'une force électromotrice. [10]

Ces deux cas peuvent être décrits par le schéma suivant :

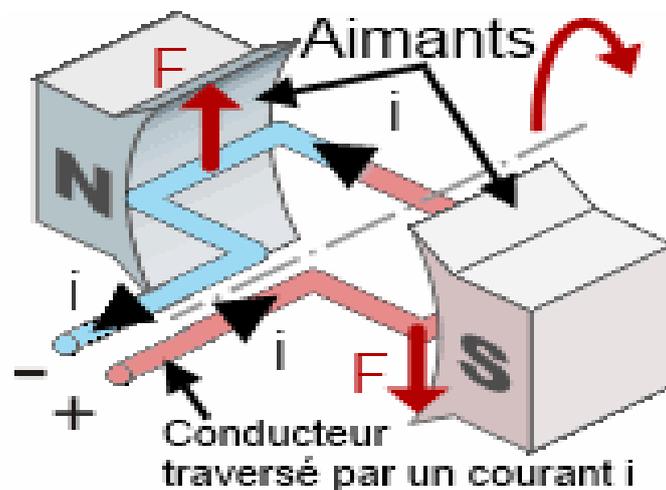


Figure II.2 : Principe de fonctionnement.

2.3 Différents type de moteurs à courant continu

Selon le type d'inducteur et son mode de branchement, on trouve:

- Les moteurs dont l'inducteur est constitué par des aimants permanents.
- Les moteurs à excitation séparée (l'inducteur peut être alimenté séparément par une source d'énergie autre que celle de l'induit)
- Les moteurs à excitation série (l'inducteur est branché en série avec l'induit)
- Les moteurs à excitation dérivation (l'inducteur en branché en parallèle sur l'induit. [11])

2.4 Application au moteur à courant continu

Les pôles Nord et Sud des aimants permanents créent un flux (champ magnétique B) dans le moteur. La spire est alimentée et plongée dans ce flux. Elle est soumise à un couple de forces F (force de Laplace). Le moteur se met en rotation. On dit qu'il y a création d'un couple moteur. Compte tenu de la disposition des balais et du collecteur, le sens du courant I dans la spire change à chaque demi-tour, ce qui permet de conserver le même sens de rotation (sinon, la spire resterait en position d'équilibre).

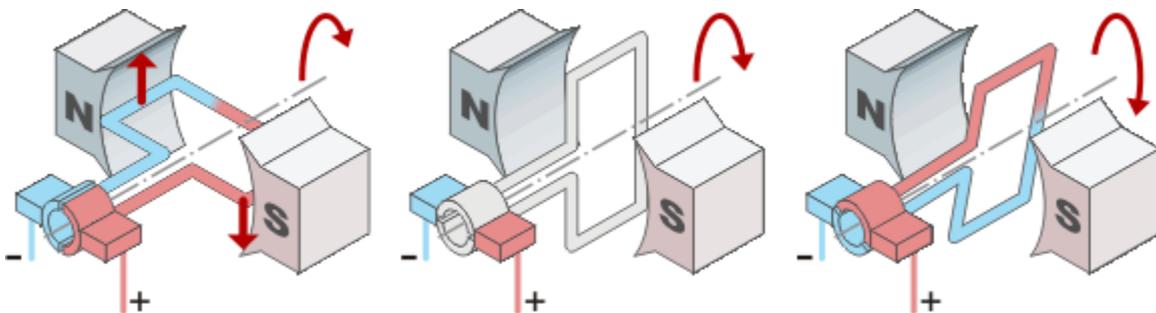


Figure II.3 : Description d'un moteur à courant continue.

Dans la pratique, pour que le moteur puisse démarrer sans être lancé, il faut disposer au minimum de trois bobinages disposés à 120° . [11]

2.5 Avantages et inconvénients

Le principal avantage d'un moteur à courant continu est son faible coût, et la capacité qu'il offre de régler facilement sa vitesse à l'aide d'un gradateur.



Figure II.4 : Rotor d'un moteur à courant continu.

Le problème principal de ce type de moteur est le collecteur. En effet, pour assurer un bon contact entre les balais et le collecteur, la pression de contact entre les deux doit être importante, surtout à des vitesses élevées. De plus, les ruptures de contacts au collecteur peuvent provoquer des arcs électriques à chaque commutation. A cause de la pression et de ces arcs, les balais vont avoir une durée de vie limitée, et les arcs peuvent créer des parasites dans le circuit d'alimentation et par rayonnement électromagnétique.

Un second problème peut apparaître sur ce type de moteurs : le dé frettage. Si le moteur tourne à une vitesse trop élevée, la force centrifuge peut endommager le système de fixation des bobinages du rotor. Pour remédier à ces problèmes, on utilise de plus en plus de moteurs brushless. [12]

3. Le moteur brushless

Le moteur « brushless », moteur sans balais, tire son nom par opposition au moteur à courant continu qui dispose de bobinages sur le rotor et nécessite un collecteur pour alimenter ce bobinage. Ce collecteur est un point faible du moteur à courant continu : pertes énergétiques (mécaniques et électriques), usure, étincelles,...etc.

Historiquement, le moteur à courant continu est prisé pour les applications nécessitant un réglage de la vitesse ou du couple, tandis que les moteurs asynchrones sont utilisés pour les applications à forte puissance, vitesse constante et nécessitant des moteurs robustes. Les champs d'applications des différents moteurs s'élargissent progressivement grâce aux innovations sur l'électronique de puissance et les puissances de calcul, qui permettent de contrôler le courant de façon très flexible. [13]

3.1 Mise en marche

Dans un moteur à courant continu avec balais, l'ensemble collecteur- balais assure mécaniquement la commutation dans l'alimentation des bobines en fonction de l'angle du rotor. Dans un moteur sans balais à aimants permanents, cet élément n'existe plus alors il faut donc créer cette commutation électroniquement. Le système de contrôle électronique doit donc assurer un démarrage progressif, l'objectif étant toujours de reproduire la fonction du collecteur. La fréquence des tensions d'alimentations sera donc très basse au départ, puis augmentée progressivement en tenant compte de la réaction du moteur. Pour mettre en œuvre une commutation adéquate pour le démarrage de la machine, l'utilisation des capteurs à effet hall sera nécessaire. [14]

3.2 Régulation de la vitesse du moteur

Globalement, la vitesse maximale d'une machine sans balais est liée à sa tension d'alimentation. Contrairement à un moteur synchrone triphasé où on ajuste la fréquence pour obtenir la vitesse souhaitée, ici c'est la vitesse du moteur qui va indiquer au contrôleur à quelle fréquence il doit assurer la commutation. Pour réguler la vitesse d'un moteur sans balais, il faut donc faire varier la tension d'alimentation afin d'ajuster le courant dans chaque bobinage, tout en maintenant une fréquence de commutation adaptée à la fréquence de rotation mesurée du moteur. En pratique, les contrôleurs, des machines à aimants permanents sans balais, les plus performants peuvent intégrer les deux fonctions : commutation des bobines en fonction des données des capteurs à effet hall, et régulation de la vitesse en MLI sur l'alimentation de chaque bobine. [15]

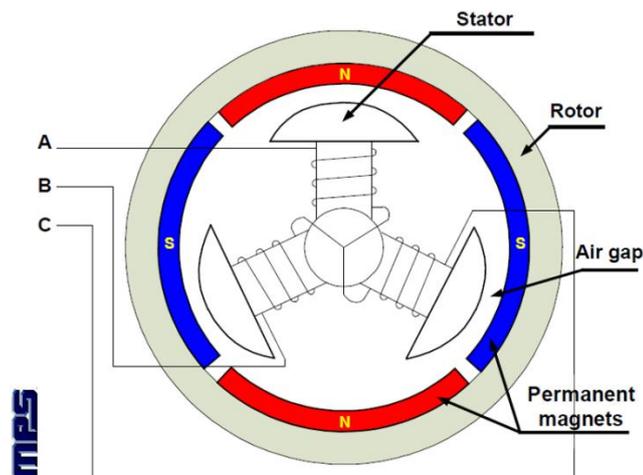


Figure II.5 : Vu intérieur d'une machine sans balais avec le positionnement des capteurs.

3.3 Intérêts des moteurs sans balais (brushless)

3.3.1 Avantage des moteurs sans balais (brushless)

- Rendement optimum.
- Pas de chute de tension due au collecteur.
- Grande durée de vie, fiabilité.
- Souplesse en vitesse.
- Taille et poids avantageux.
- Pas de collecteur, balais etc.
- Puissance dissipée importante.
- Moins de perte –moins d'échauffement.
- Contrôle de la commutation électronique.
- Moins de bruit acoustique.
- Pas de vibrations des balais à haute vitesse.
- Moins de débris et résidus.

3.3.2 Inconvénient des moteurs sans balais (brushless)

- Nécessité d'un bon variateur.
- Risque de mauvais démarrage ou de décrochages.
- Cout élevé.
- Plus petites séries, peu de séries économiques. [16]

3.4 Utilisation

Les machines sans balais sont largement utilisées dans l'industrie, en particulier dans les servomécanismes des machines-outils et en robotique, où ils ont fait disparaître les machines à courant continu. De plus, ils équipent en particulier les disques durs et les graveurs de DVD. Une forme simplifiée et populaire de ces technologies est utilisée dans les ventilateurs assurant le refroidissement des microordinateurs. Dans ce cas, le stator (bobiné) est à l'intérieur et le rotor (comportant les aimants) est à l'extérieur.

Dans le domaine des transports, les moteurs électriques qui équipent les véhicules hybrides comme la Toyota Prius et la Honda Civic IMA pour assurer, entre autres, le fonctionnement à faible vitesse. Des moteurs de type sans balais sont également utilisés pour les systèmes de ventilation/climatisation d'automobiles depuis les années 1990, un des principaux avantages dans ce cas est leur silence.

Ils équipent également les vélos à assistance électrique, vélos que l'on entraîne en pédalant comme sur un vélo classique mais où un moteur vient aider à l'effort. Certains scooters présents sur le marché utilisent également ce moteur pour les faibles vitesses ou en remplacement total du moteur thermique. [15]

3.5 Anatomie BLDC

Le moteur à moyeu BLDC utilisé dans cette expérience est doté de 27 bobines de stator électromagnétiques et de 30 aimants permanents (ou 15 paires de pôles). De nombreux schémas montrent les capteurs à effet Hall avec les étiquettes U, V et W à équidistance des bobines de stator (120 degrés). Les capteurs sont équidistants, mais la plupart se trouvent d'un côté du stator. [17]

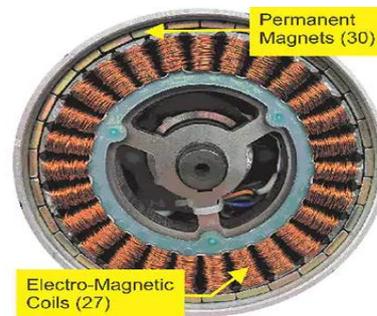


Figure II.6: constitue des aimants permanents d'un moteur brushless.

3.6 Disposition des capteurs de hall

Comme l'indique la Figure 7, les capteurs à effet Hall sont centrés à la surface des bobines. La distance entre le centre de deux capteurs est de trois bobines, ce qui donne 40 degrés d'écart.

$$2 \text{ bobines entières} + 2 \text{ demi-bobines} = 3 \text{ bobines d'écart}$$

$$360 \text{ degrés} / 27 \text{ bobines} * 3 \text{ bobines d'écart} = 40 \text{ degrés}$$

Cette configuration génère les mêmes valeurs de sortie que des capteurs placés à une distance physique de 120 degrés. Un tiers des aimants passe par chacun des capteurs pour donner 10 impulsions par capteur. Au total, les capteurs génèrent 30 impulsions par 120 degrés, soit 90 impulsions en un tour complet.

$9/27$ (bobines) = $10/30$ (aimants) = $120/360$ (degrés) = $30/90$ (impulsions) = $1/3$ (d'un tour). [17]

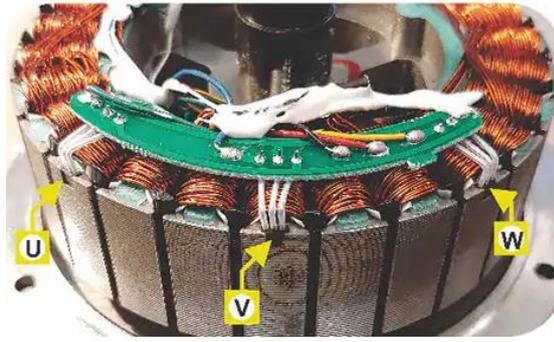


Figure II.7 : positionnement des capteurs.

3.7 Principe de fonctionnement d'un moteur brushless

Un moteur Brushless entre dans la catégorie des machines alternatives synchrones. Figure 8 montre une classification des machines électriques. Le premier niveau distingue la machine à courant continu et les machines alternatives. Le moteur universel est un cas particulier de moteur fonctionnant aussi bien (ou aussi mal pourrait-on dire) sur courant continu que sur courant alternatif. [18]

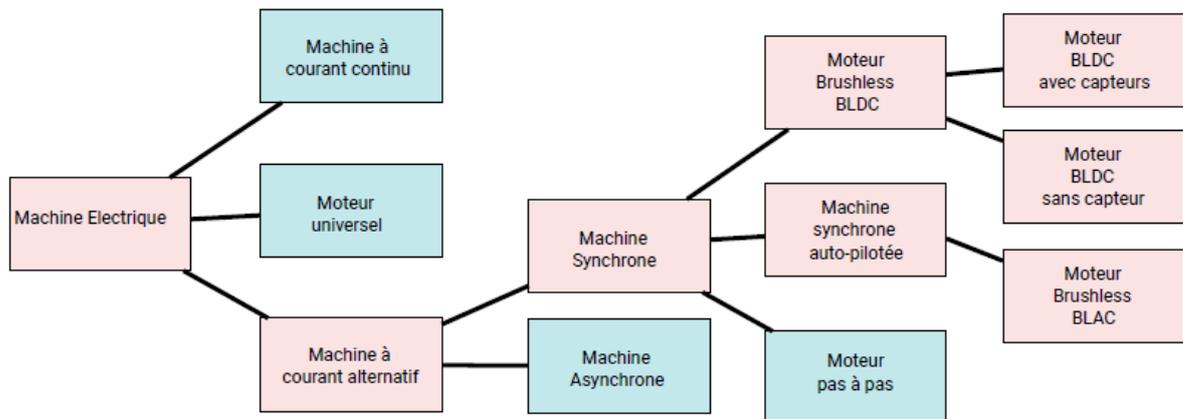
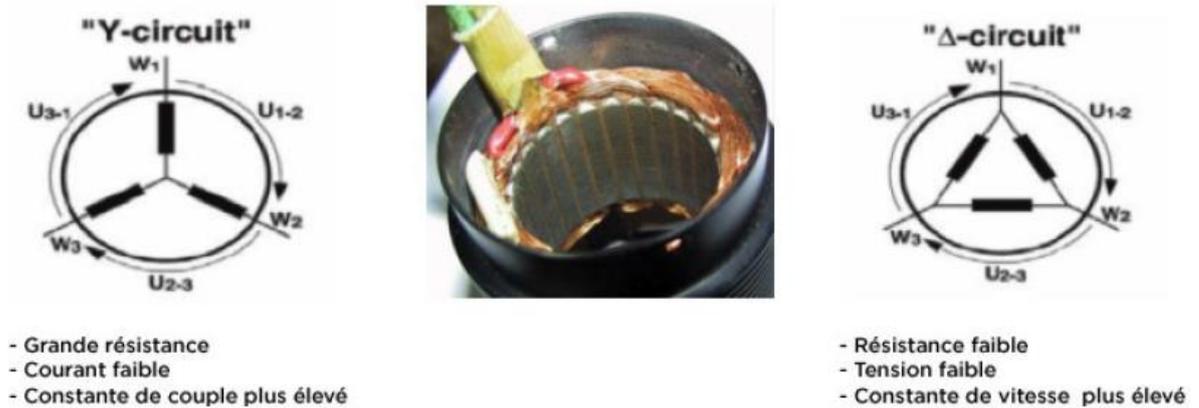


Figure II.8 : Classification des moteurs électriques.

Parmi les machines alternatives, le second niveau distingue les machines synchrones et asynchrones. Parmi les machines synchrones, la machine synchrone autopilotée correspond au moteur brushless à commande sinusoïdale (BLAC, Brushless Alternative Current), tandis que le moteur BLDC (BrushLess Direct Current) correspond à un moteur brushless à commande en créneau.

Dans le cas du BLCD, la commutation peut être commandée à partir d'une mesure par capteurs à effet Hall à 6 points par tour, ou encore à partir d'une mesure de force contre-électromotrice (moteurs dits sans capteurs : « sensorless »).



Le bobinage du moteur brushless

Figure II.9 : Bobinage du moteur brushless.

Le moteur est constitué de 3 bobines, déphasées de 120° , couplées en étoile ou en triangle. Les couplages permettent de privilégier soit la vitesse soit le couple avec un facteur $\sqrt{3}$.

Les constantes de vitesse et de couple doivent correspondre aux résultats attendus : Pour une impédance forte, le couplage en étoile avec les bobines en série est recommandé. Pour une impédance faible, le couplage en triangle avec les bobines en parallèle est préférable. [18]

On obtient la même puissance avec :

- ✓ Pour couplage étoile : plus de tension pour moins de courant.
- ✓ Pour couplage triangle : moins de tension pour plus de courant

3.7.1 Architecture et représentation

Sur les moteurs brushless, les bobinages sont toujours sur le stator. Le rotor est en général constitué d'un aimant permanent, mais il peut aussi prendre la forme d'un électro-aimant, alimenté en courant continu, qui nécessite alors des balais pour être alimenté.

Dans la situation courante où le stator est l'armature métallique externe, le moteur est dit « inrunner » : le rotor est placé à l'intérieur du stator. Il existe néanmoins une autre architecture consistant à placer le stator à l'intérieur (avec les bobinages) et à faire tourner une couronne d'aimants. Le moteur est dit « out-runner » car la partie extérieure. [18]



Figure II.10 : bobinage d'un moteur BLDC

3.8 Les capteurs à effet Hall

3.8.1 Historique

L'effet Hall a été découvert en 1879 par le physicien Edwin Hall, il fait partie de l'ensemble des phénomènes galvanométriques qui s'observent dans le solide subissant l'action d'un champ électrique et d'une induction magnétique.

3.8.2 Principe de fonctionnement

L'effet hall apparait si le semi-conducteur parcouru par un courant I et soumis à un champ magnétique perpendiculaire à la direction du courant, tel qu'on observe la dérivation des électrons du semi-conducteur et création d'un potentiel dans une direction perpendiculaire à la fois au champ magnétique et la direction du courant appelée tension de hall V_H . Cette dernière est proportionnelle au champ magnétique et à la densité du courant. L'étude de ce capteur doit être détaillée dans le chapitre qui suit. [19]

L'effet hall apparait aussi dans les conducteurs, mais il est moins notable.

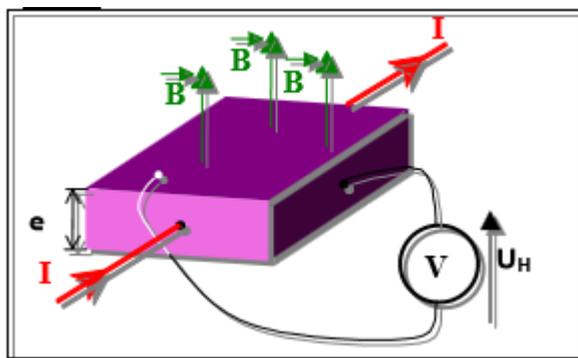


Figure II.11 : Capteur à effet hall.

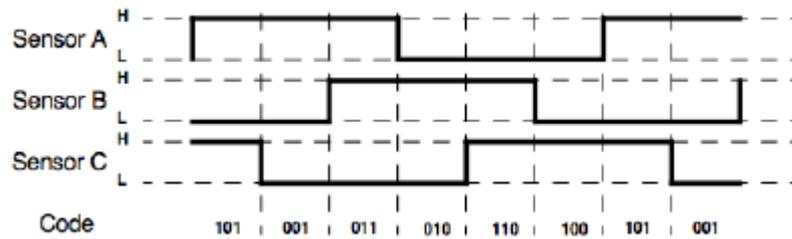


Figure II.11 : Formes d'ondes à la sortie des capteurs à effet Hall.

3.8.3 Applications des capteurs à effet hall

Il existe plusieurs applications des capteurs à effet hall:

- La caractérisation du type d'un semi-conducteur
- La mesure de la concentration des porteurs dans un semi-conducteur.
- La mesure de la température
- La mesure de courant forts sans contacte.
- La mesure des inductions magnétiques : tesla mètre, gaussmètre, magnétomètre.
- La détection des câbles électriques cachés dans un mur.
- Ils sont aussi utilisés comme capteurs de position, de niveau ou de déplacement. [19]

3.9 Onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continu-alternatif, il permet de modifier de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir un signal contrôlé en fréquence et en amplitude. Ce dernier est un ensemble d'interrupteurs, représentant les transistors et les diodes, qui sont soit à l'état conducteur (on) soit à l'état bloqué (off). Il est constitué de trois bras, de deux transistors IGBT pour chacun. Chaque transistor est monté en anti parallèle avec une diode de récupération, pour assurer la continuité des courants. [15]

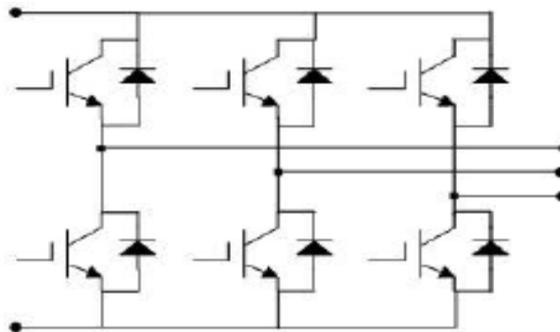


Figure II.12 : Schématisation d'un pont onduleur.

3.9.1 La logique de commande de l'onduleur

Afin d'imposer la logique de commande 120° électriques, nous utilisons l'information logique (signaux A, B et C) en sortie du capteur de position pour générer les signaux qui permettent l'ouverture et la fermeture des transistors de l'onduleur. La commande se fait de telle sorte qu'à chaque position élémentaire du rotor de la BDCM (thêta =60° électriques) des ordres doivent être donnés pour le blocage d'un transistor et le déblocage d'un autre. Ceci se fait en synchronisant les courants (champ statorique) et les f.c.e.m (champ rotorique) et en maintenant entre eux un angle de déphasage nul (angle de calage nul). En outre, afin d'assurer l'inversion du sens de rotation du moteur, nous définissons les tables de vérités dans les deux sens. [15]

Angles	A	B	C	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
0°-60°	0	0	0	1	0	0	1	0	0
60°-120°	0	0	1	1	0	0	0	0	1
120°-180°	0	1	1	0	0	1	0	0	1
180°-240°	0	1	0	0	1	1	0	0	0
240°-300°	1	1	0	0	1	0	0	1	0
300°-360°	1	0	0	0	0	0	1	1	0

Tableau II.1 : Signaux du capteur et états des interrupteurs (rotation dans le sens horaire).

Angles	A	B	C	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
0°-60°	0	0	0	0	1	1	0	0	0
60°-120°	0	0	1	0	1	0	0	1	0
120°-180°	0	1	1	0	0	0	1	1	0
180°-240°	0	1	0	1	0	0	1	0	0
240°-300°	1	1	0	1	0	0	0	0	1
300°-360°	1	0	0	0	0	1	0	0	1

Tableau II.2 : Signaux du capteur et états des interrupteurs (rotation dans le sens antihorair).

3.9.2 La commutation électrique

Un moteur triphasé BLDC nécessite trois capteurs à effet Hall pour détecter la position du rotor. Dans cette figure la position physique des capteurs à effet Hall est telle que les signaux captés sont déphasés de 120° . La combinaison de ces trois signaux de capteur à effet Hall peut déterminer la séquence exacte de commutation.

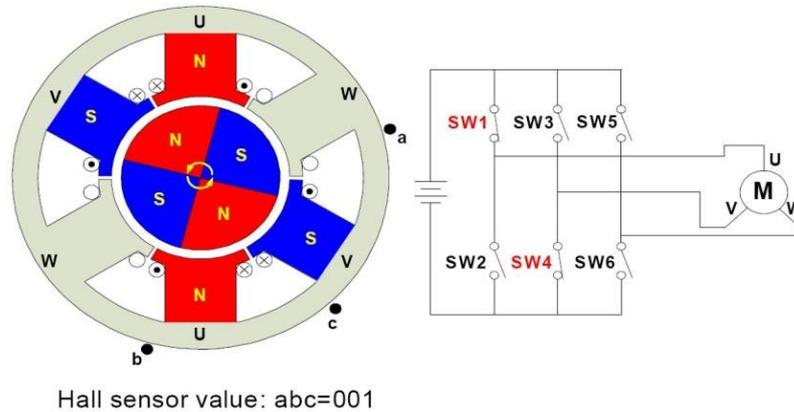


Figure II.13 : Séquences de commutation du circuit de commande d'un moteur BLDC

La figure 13 montre la séquence de commutation du circuit de commande d'un moteur BLDC triphasé pour une rotation dans le sens antihoraire. Trois capteurs à effet Hall "a", "b" et "c" sont montés sur le stator à 120° du cycle électrique, tandis que les trois enroulements de phase sont en forme d'étoile. Pour chaque rotation de 60° du cycle électrique, l'un des capteurs à effet Hall change d'état, il faut six étapes pour terminer tout un cycle électrique. Pour chaque étape, il y a une première borne du moteur dont la tension est haute, une deuxième borne dont la tension est basse, et la troisième borne avec une tension flottante. Il est à noter que le cycle d'un signal peut ne pas correspondre à une révolution mécanique complète. Le nombre de cycles de signaux pour effectuer une rotation mécanique est déterminé par le nombre de paires de pôles du rotor. Chaque paire de pôles du rotor nécessite un cycle de signal dans une rotation mécanique. Ainsi, le nombre de cycles de signaux est égal aux nombre de paires de pôles du rotor

La figure 13 montre les tensions aux bornes du BLDC en fonction des signaux de sorties des trois capteurs à effet Hall "a", "b" et "c". Les enroulements de phase U, V et W sont soit sous tension soit flottant en fonction des signaux du capteur à effet de Hall qui présentent un déphasage de 120° les uns par rapport aux autres, lorsque le moteur tourne dans le sens antihoraire. [18]

3.10 Les constantes de vitesse et de couple dans un BLDC

Un moteur brushless de type BLDC est un moteur conçu pour être commandé à l'image d'un moteur à courant continu, en assurant la commutation électronique plutôt que par un collecteur. Pour une raison de régularité du couple que nous allons voir par la suite, le rotor est équipé d'un ou deux aimants disposés de telle façon qu'il impose un flux magnétique uniforme B_0 dans l'entrefer, au signe près (positif du côté nord et négatif du côté sud). L'expression mathématique du champ dans l'entrefer peut s'écrire sous la forme $B(\alpha) = \delta B(\alpha) B_0$, avec $\delta B(\alpha)$ représentant le signe : $\delta B(\alpha) = -1 \forall \alpha \in [0, \pi]$ et $\delta B(\alpha) = 1 \forall \alpha \in [\pi, 2\pi]$

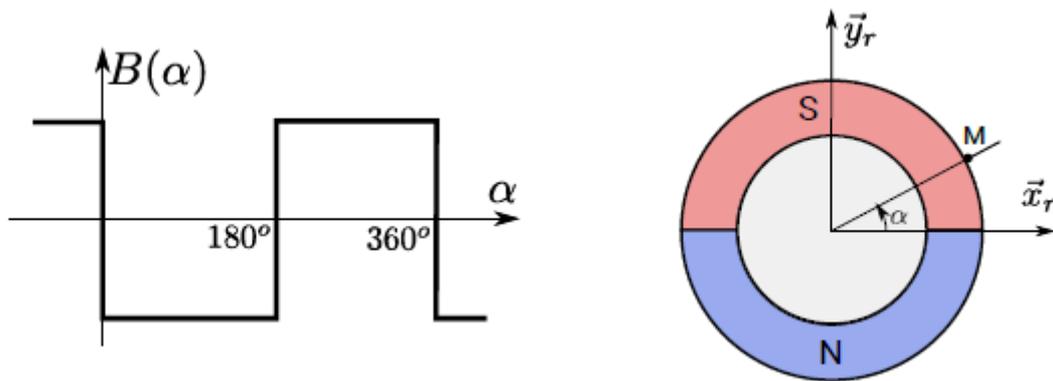


Figure II.14 : Déphasage d'un flux magnétique.

La convention de signe choisie ici conduit à un champ négatif (pôle sud) sur le haut et positif (pôle nord) sur le bas du rotor. Le dipôle magnétique $\vec{m} = -m \vec{y}_r$ est orienté vers le bas.

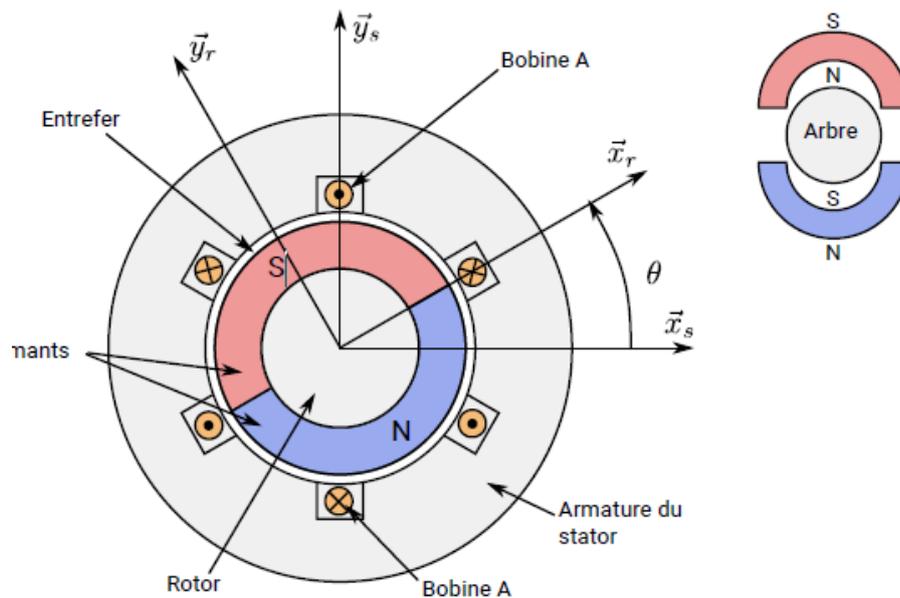


Figure II.15 : Architectures d'un moteur brushless DC.

Les armatures du stator ainsi que l'acier du rotor canalisent le champ magnétique imposé par l'aimant, qui s'oriente positivement en allant des faces nord des aimants vers les faces sud (sauf à l'intérieur des aimants). Il faut noter que l'aimant indiqué « nord » a en réalité 2 pôles nord et sud, le pôle nord étant coté entrefer et imposant ainsi l'orientation du champ magnétique dans l'entrefer. Le pôle sud de cet aimant est coté rotor. C'est bien entendu l'inverse pour l'aimant noté « sud ». Lorsque le rotor tourne, les lignes de champs restent identiques dans un repère accroché au rotor (la géométrie du stator restant invariante par rotation). On suppose dans un premier temps que la bobine n'est pas alimentée (donc aucun champ magnétique n'est généré par la bobine).

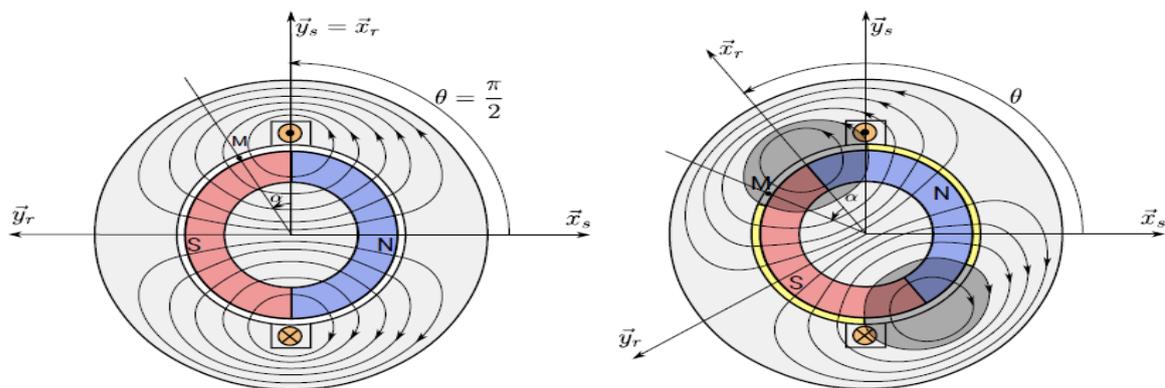


Figure II.16 : Champ magnétique dans un moteur BLDC.

Les bobinages sont disposés sur le stator, à proximité de l'entrefer. Il y a trois bobines dans un BLDC (figure 16) mais une seule a été représentée figure 13 car les calculs que nous allons réaliser sont identiques pour les trois bobines, à un décalage angulaire de 120° près. La bobine entoure le rotor, et d'après la convention de signe indiquée, le courant circule positivement dans le sens sortant de la feuille en haut et dans le sens rentrant en bas. On suppose que la dimension dans le sens de la profondeur vaut 1, qui s'avère donc être à la fois la largeur de l'entrefer suivant \vec{z} et la longueur de chaque conducteur. On rappelle que la machine est à pôle lisse et on suppose qu'il n'y a pas de saturation magnétique. [13]

- **Constante de couple (mNm/A)**

C'est le facteur de proportionnalité entre le couple fourni et le courant consommé. Le produit de cette constante par le courant consommé donne donc le couple demandé au moteur. C'est une des constantes les plus caractéristiques du moteur.

- **Constante de vitesse (tr/mn/V)**

C'est le facteur de proportionnalité entre la tension appliquée au moteur et la vitesse à vide (en négligeant la chute de vitesse liée aux frottements). La multiplication de cette constante par la

tension d'alimentation donne donc la vitesse à vide du moteur. C'est également une des constantes les plus caractéristiques du moteur. La valeur inverse de la constante de vitesse est la constante de tension, aussi appelée constante force contre-électromotrice.

- **Constante vitesse/couple (tr/mn/mNm)**

Elle permet de calculer la chute de vitesse du moteur en fonction du couple qu'il fournit. C'est une des constantes caractéristiques du moteur qui permet de faire le lien entre vitesse à vide et vitesse en charge. L'écart entre ces deux valeurs est donc égal au produit du couple fourni par cette constante.

- **Puissance maximale admissible (W)**

C'est la puissance maximale du moteur en régime intermittent. Elle est le résultat du produit de la moitié de la vitesse à vide par la moitié du couple de démarrage et ce à la tension de mesure et à une température du rotor de 25°C. Cette valeur varie en fonction de la température du moteur.

- **Puissance utile maximale permanente (W)**

C'est la puissance maximale d'utilisation permanente du moteur. Pour obtenir cette puissance, il est parfois nécessaire d'alimenter le moteur à une tension supérieure à la tension nominale, afin que le moteur fonctionne à sa vitesse limite et à son courant maximum permanent. Cette valeur varie en fonction de la température du moteur. [20]

4. Moteur pas à pas

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique. Au point de vue électrotechnique, le moteur classique ressemble à la machine synchrone, dont le stator (le plus souvent à pôles saillants) porte les enroulements de pilotage et le rotor (presque toujours à pôles saillants) est soit muni d'aimants permanents (structure dite polarisée ou active), soit constitué par une pièce ferromagnétique dentée (structure dite réluctance ou passive). Entre le moteur et son alimentation, sont intercalés trois éléments essentiels :

- une unité de calcul, qui élabore les impulsions de commande;
- un modulateur PWM, qui génère les commandes des contacteurs électroniques de Commutation;

- une électronique de commutation (puissance), qui, à partir d'une alimentation, fournit l'énergie vers les enroulements appropriés du moteur. [21]

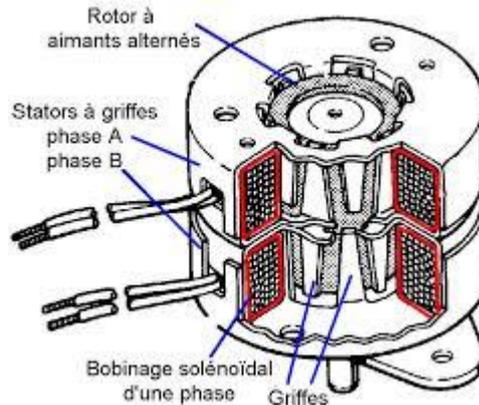


Figure II.17 : moteur pas à pas.

4.1 Moteur à aimants permanents

Les moteurs à aimants permanents sont semblables aux moteurs à réluctance variable, sauf que le rotor possède des pôles NORD et SUD. À cause des aimants permanents, le rotor reste freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions.

Une façon simple de voir le système, est de placer une boussole entre deux aimants. Suivant la bobine qui est alimentée et le sens du courant, l'aimant va s'aligner avec le champ. [21]

4.1.1 Constitution

Un moteur à aimant permanent comprend :

- Un rotor bipolaire constitué d'un aimant permanent (partie mobile)
- Un stator à deux paires de pôles (partie fixe)

4.1.2 Fonctionnement

Les bobines diamétralement opposées constituent les phases. Elles sont connectées de façon à créer un pôle Sud et un pôle Nord.

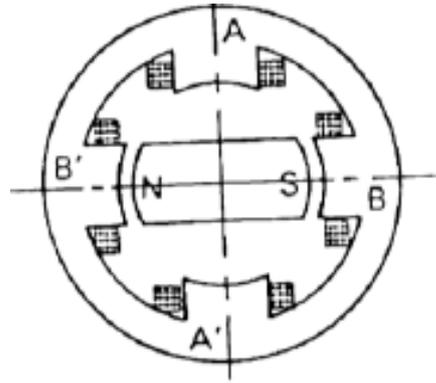


Figure II.18 : Principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas.

En inversant les sens des courants dans une phase, on permute les pôles engendrés par une bobine. Le rotor se déplace alors et prend une nouvelle position d'équilibre stable.

Selon la conception des enroulements, on distingue deux grands types de moteurs pas à pas :

Le moteur unipolaire

Les enroulements sont à point milieu. Les bornes sont toujours alimentées par une polarité de même signe (d'où le terme unipolaire). [21]

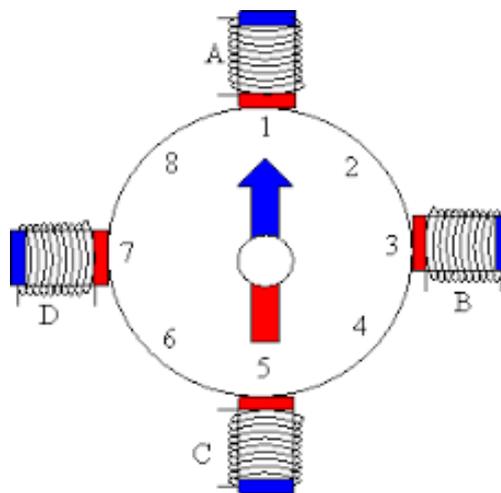


Figure II.19 : moteur unipolaire.

4.1.3 Le moteur bipolaire

Les enroulements du stator n'ont pas de point milieu. Chaque borne de Chaque enroulement est alimentée par une polarité positive puis négative (d'où le terme bipolaire).

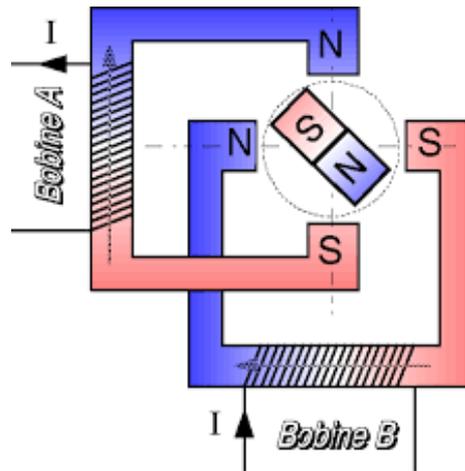


Figure II.20: moteur bipolaire.

4.1.4 Alimentation

Le principe de fonctionnement des moteurs pas à pas repose sur la commutation successive des enroulements stator (ou phase). Pour cela, une impulsion électrique est traduite par un séquenceur agissant sur une électronique de commutation (drivers ou transistors de puissance) qui distribue les polarités dans les enroulements. Une seule commutation provoque un seul pas quelle que soit la durée de l'impulsion (supérieur à une valeur minimale).

4.2 Moteurs à deux phases (ou bipolaire)

Ce sont des moteurs comportant des enroulements qui sont alimentés soit dans un sens, soit dans l'autre. Chaque bobine est parcourue successivement par des courants inverses nécessitant une commande bipolaire.

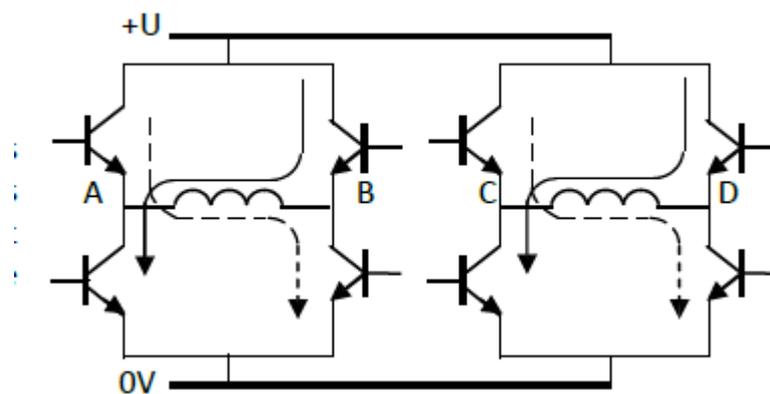


Figure II.21 : Moteur à deux phases.

4.2.1 Moteurs à quatre phases (ou unipolaire)

Ce sont des moteurs comportant des bobines à point milieu, dans chacune d'elles le courant circule toujours dans le même sens. Il suffit d'une commande unipolaire. [21]

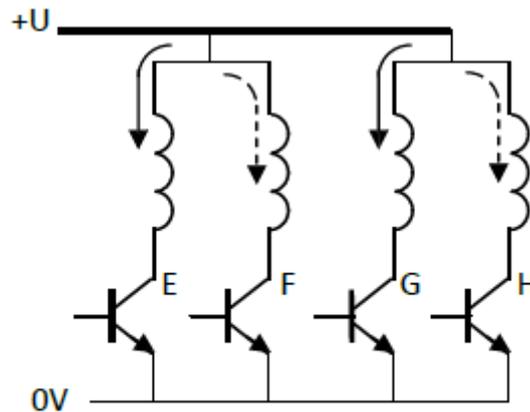


Figure II.22 : Moteurs à quatre phases.

4.2.2 La différence entre pas à pas et brushless

Dans le principe ces 2 types de moteur sont proches puisqu'il y a des aimants au rotor (partie tournante) et des enroulements dans la partie fixe (stator), et ce sont ces enroulements que l'on pilote. La différence est véritablement dans la manière de piloter les enroulements.

Le moteur pas à pas est prévu pour avoir un pilotage en tout-ou-rien, autrement dit quand on change l'alimentation d'un enroulement vers un autre le moteur passe d'une position à l'autre par bond.

Le moteur synchrone appelé aussi "brushless" possède 3 enroulements et ceux-ci sont alimentés en courant triphasé, le moteur tourne continuellement en suivant la fréquence du courant triphasé.

La commande d'un moteur pas à pas est donc plus simple puisque l'on a des commandes tout ou rien, tandis qu'il faut générer 3 phases sinusoïdales pour le moteur synchrone (brushless). [22]

5. Etude comparative entre moteur à courant continu et brushless

Ce tableau représente les différentes caractéristiques de moteur BLDC et moteur avec balais et on a fait une étude comparative entre les deux pour améliorer notre exemple de recherche

	Moteur BLDC	Moteur avec balais
commutation	Commutation électronique basée sur des capteurs de position d'effet hall	Commutation par balais
Maintenance	Minimale	Périodique
Durabilité	Supérieur	Inferieur
Courbe Vitesse/Couple	Plane. Opération a toutes les vitesses avec la charge définie	Modérée à haute vitesse la friction des balais augmente et réduit le couple
Efficacité	Haute. Sans chute de tension à cause des balais	Modérée
Puissance de Sortie/Taille	Haute. Taille réduit dû aux meilleures caractéristiques thermiques ; le fait que les bobinages se trouvent dans le stator, qui est logé dans la carasse facilite la dissipation de la chaleur	Basse la chaleur produite dans la carcasse est dissipée vers l'intérieur, augmentant la température et limitant les caractéristiques
Inertie du rotor	Faible .Dû aux aimants permanents dans le rotor	Haute limite les caractéristiques dynamiques
Eventail de Vitesses	Grand. Sans limitations mécaniques imposée par balais/commutateur	Petit la limitation est marquée par les balais
Bruit électrique généré	Faible	Arcs dans les balais
Cout de production	Haut .Dû aux aimants permanents	Faible
Contrôle	Complexe et cher	Simple et bon marché
Conditions requises	Un contrôleur est toujours requis pour maintenir le moteur en marche .Il peut être également utilisé pour varier la vitesse.	Le contrôleur n'est pas requis si une variation de vitesse n'est pas nécessaire.

Tableau II.3 : Etude comparative entre moteur courant continu et brushless.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté trois types des moteurs (DC, Brushless et pas à pas), ainsi une étude complète sur chaque moteurs .Nous avons détaillé également tous les caractéristiques du moteur Brushless pour améliorer l'autonomie de notre exemple de recherche chaise roulant à basse d'un moteur Brushless .En outre une étude comparatives entre DC et Brushless.

CHAPITRE III
CONCEPTION ET
REALISATION

1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons tout d'abord les caractéristiques de notre fauteuil roulant électrique. Nous décrivons le choix du fauteuil roulant électrique, la partie commande et la partie puissance. Ensuite le logiciel qu'on va utiliser.

2. Présentation de notre Fauteuil roulant électrique

Il existe différents critères pour choisir un fauteuil et de nombreux accessoires en fonction du modèle retenu : La commande, L'assise, Le dossier, Les accoudoirs, Les repose-pieds, Les roues, Les batteries, les accessoires, repose jambe, équipement de route, commandes électriques, repose canne, protège vêtements, ceinture, monte trottoir, rallonge dossier. Ces nombreux critères doivent être pris en compte. Le fauteuil doit être adapté à la morphologie, et le positionnement étudié en fonction du handicap. Le fauteuil est défini pour un usage à dominante intérieure ou au contraire extérieure. [23]

Hauteur total	98 cm
Largeur total	50 cm
Hauteur de siège	44 cm
Largeur de siégé	50 cm
Profondeur de siège	40 cm
Hauteur du dossier	44 cm
Poids net avec batterie	30 kg
Poids max autorisé	110 kg
Roulettes avant	7 cm
Roues arrière	20 cm
Vitesse max	6 km/h
D'instance d'arrêt	1 m
Puissance moteur	250 W / 36 V
Bruit moteur	65dBA
Batterie	2*12V 7Ah
Autonomie de batterie	20 km
Alimentation de charge	220 V AC /3.5A

Tableau III.1 : Caractéristique technique de notre fauteuil.



Figure III.1 : Le model de fauteuil à réaliser

3. Partie commande

3.1 Synoptique d'un fauteuil roulant électrique

Chaque plateforme mobile est constituée d'une partie mécanique et une partie électrique. La partie mécanique représente la structure métallique et les actionneurs. La partie électrique présente les capteurs, les moteurs électriques, la carte de puissance et celle de commande. Nous intéressons dans le synoptique suivant de la partie électrique qui est constitué de :

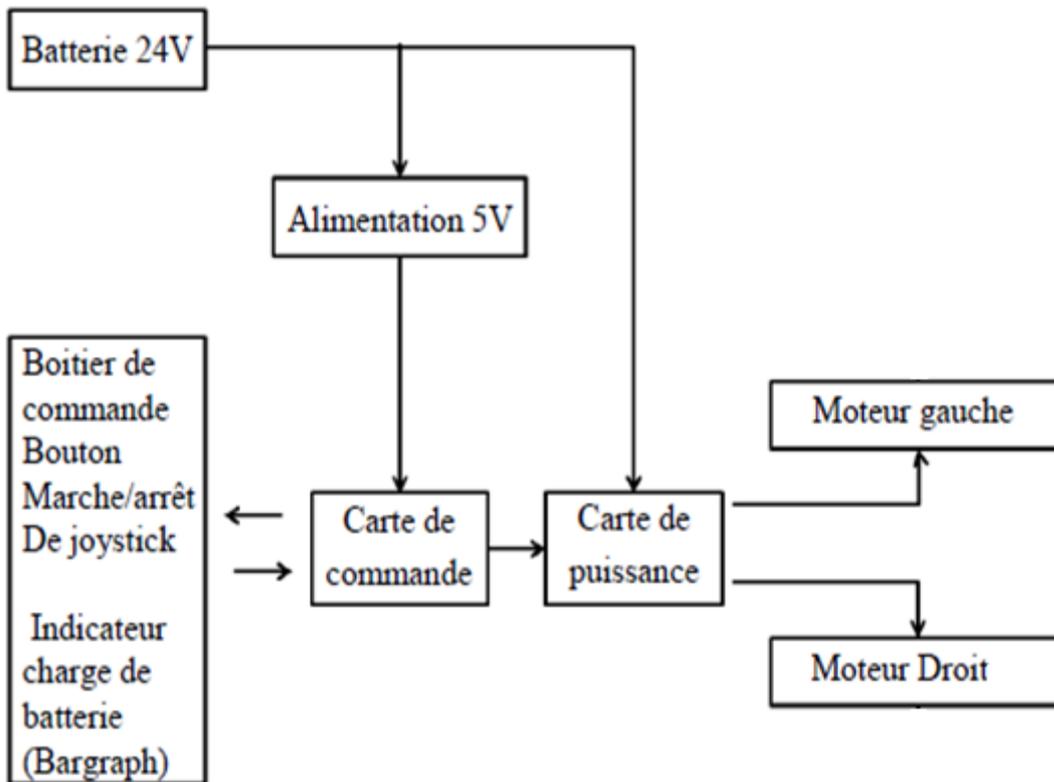


Figure III.2 : Synoptique du fauteuil roulant électrique

Batterie : le fauteuil roulant électrique est alimenté par deux batteries 12 V montées en série pour obtenir une tension de 24 V.

Boitier de commande et de contrôle : Elle est constituée d'un bouton marche/arrêt pour mettre le fauteuil roulant sous tension ou hors tension, d'un bouton pour augmenter la vitesse du fauteuil et d'un autre bouton pour diminuer cette vitesse, un indicateur de l'état de batterie, un indicateur de la vitesse utilisée, un système de détection d'erreurs et un klaxon fonctionne tant que la touche est enfoncée. Tout incident constaté dans l'électronique est signalé sur l'unité de commande et, si nécessaire, le fauteuil roulant est mis hors tension pour des raisons de sécurité. [24]

L'électronique est signalée sur l'unité de commande et, si nécessaire, le fauteuil roulant est mis hors tension pour des raisons de sécurité.

- Deux batteries (12V7AH).
- Deux contrôleurs de vitesse (ESC).
- Deux moteur brushless (250 W / 36 V).

-Joystick.

3.2 Principe de fonctionnement du joystick

Un joystick est une sorte de potentiomètre double. Les déplacements des axes donnent des tensions analogiques. Une variation de la tension dans l'axe X donne un déplacement du fauteuil vers la droite ou gauche, et une variation dans l'axe Y donne un déplacement vers l'avant ou l'arrière. Le point de repos au milieu des axes indique l'arrêt du fauteuil. [25]

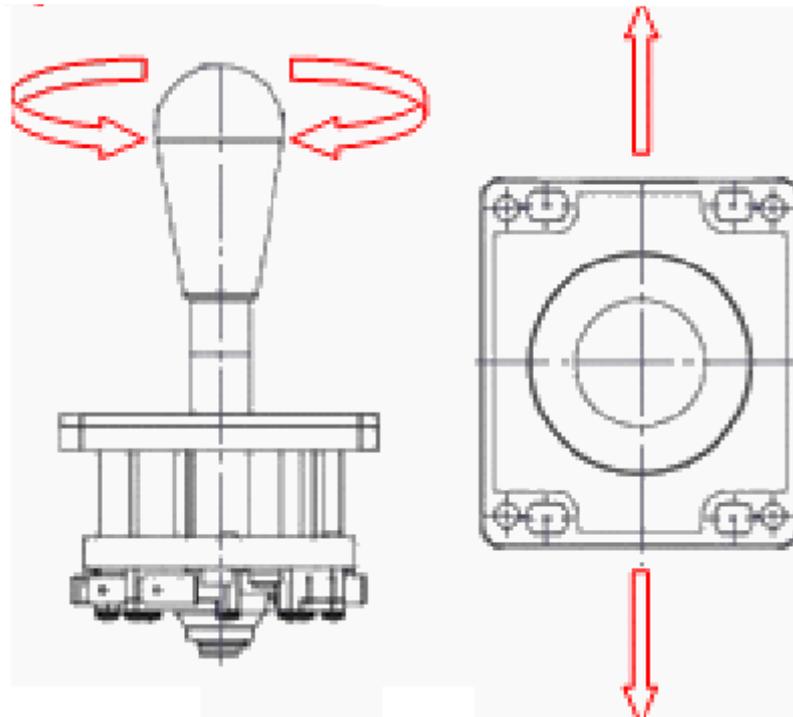


Figure III.3 : Fonctionnement de joystick sur l'axe Y

Le principe de fonctionnement du joystick est expliqué plus clairement dans l'organigramme de la figure suivante.

3.2.1 Extractions des signaux délivrés par le joystick

Le joystick donne des tensions analogiques variables sur l'axe X et l'axe Y qui permet de déterminer le sens de déplacement du fauteuil roulant électrique, nous avons visualisé ces signaux sur un oscilloscope numérique. Nous présentons par la suite quelques signaux délivrés par le joystick.

La figure 4 et la figure 5 présentent respectivement des tensions continues délivrées par le joystick lorsque le joystick est orienté vers l'avant puis vers l'arrière.

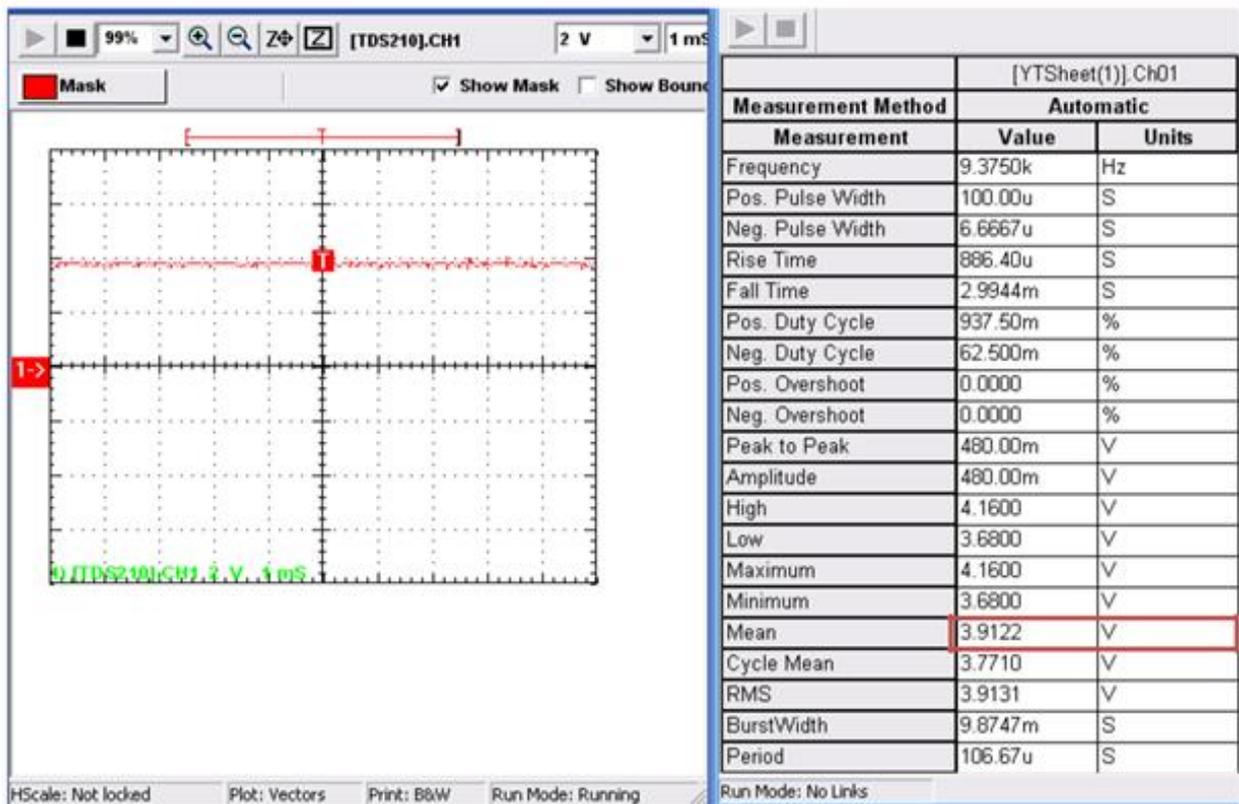


Figure III.4 : Signal délivré par le joystick à l'état « avant »

4. Partie puissance

La partie puissance joue le rôle d'une carte d'interface entre la carte de commande et la partie motrice comportant des composants mécaniques, elle nous permet de commander les moteurs à courant continu suivant les ordres fournis par la carte de commande pour permettre au fauteuil roulant électrique de se déplacer.

Nous utilisons des moteurs à courant continu dont la vitesse de rotation (donc la vitesse du fauteuil roulant électrique) est proportionnelle à la tension d'alimentation. Il va donc falloir être capable de produire une tension variable et commandable. Pour cela, notre carte de puissance est composée de deux ponts en H, chaque pont est constitué de quatre transistors qui travaillent comme des interrupteurs pour piloter les deux moteurs et permettent d'obtenir quatre états selon la façon dont ils sont commandés.

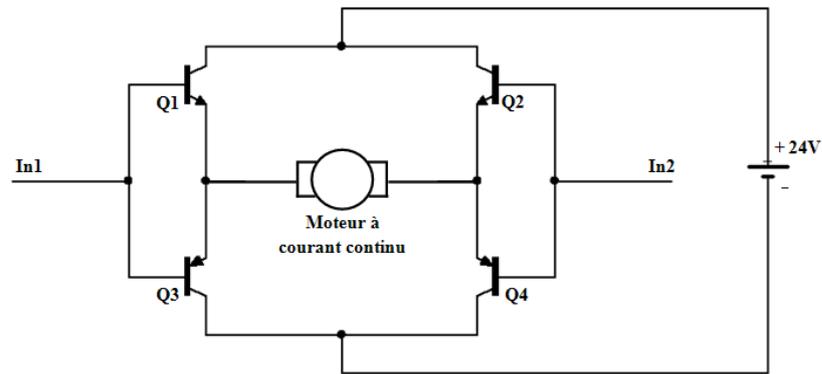


Figure III.5 : Commande du moteur par pont en H

4.1 Pont en H

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un dipôle. Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H d'où le nom. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée. Cette structure se retrouve dans plusieurs applications de l'électronique de puissance incluant le contrôle des moteurs, les convertisseurs et hacheurs, ainsi que les onduleurs. Il se présente sous différentes formes passant par les circuits intégrés pour les applications de faibles et moyennes puissances, les circuits discrets ainsi que les modules intégrés pour les moyennes et hautes puissances. [26]

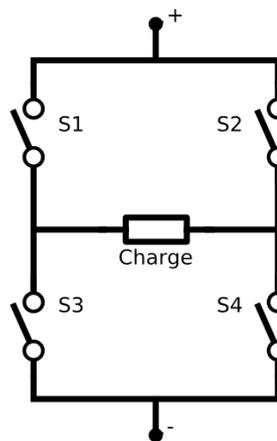


Figure III.6 : Pont en H

4.2 Principe de fonctionnement

Le pont H est un assemblage de 4 transistors (T1 à T4) montés de telle façon que le courant puisse circuler dans les deux sens au travers du moteur, ce qui permettra de changer son sens

de rotation. La structure du pont permet de modifier le sens du courant dans le moteur en gérant correctement l'ouverture et la fermeture des commutateurs :

- Si T1 et T4 sont fermés alors que T2 et T3 sont ouverts, le courant circulera de A vers B.
- Si T2 et T3 sont fermés alors que T1 et T4 sont ouverts, le courant circulera de B vers A.

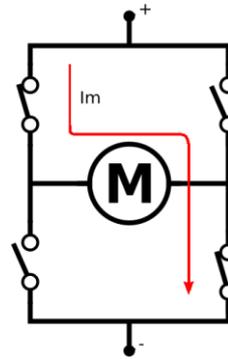
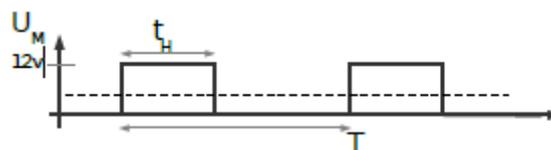


Figure III.7 :Pont en H avec une branche active.

T1 et T3 ne doivent jamais être commutés en même temps (tout comme T2 et T4) car cela provoquerait un court-circuit franc et destructeur.

4.3 Commande du pont

La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu étant proportionnelle à la valeur moyenne de la tension présente entre ses bornes, sa variation se fera donc en commandant le pont en H avec des signaux Modulés en Largeur d'Impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM). Le principe général d'une MLI consiste à appliquer un signal de commande logique et périodique dont on fera varier le rapport cyclique afin de modifier sa valeur moyenne :



Valeur moyenne : $U_M \text{ moy} = 12 \cdot (t_H/T)$

Rapport cyclique : $\alpha = t_H/T$

Lorsqu'un tel signal est appliqué à un des commutateurs inférieurs tandis que le commutateur supérieur opposé est en conduction, le pont devient un hacheur permettant de faire varier la vitesse de rotation du moteur. [27]

4.4 Utilisation avec les moteurs à courant continu

Le pont en H permet de réaliser deux fonctions qui sont d'inverser le sens de rotation du moteur en inversant le courant aux bornes du moteur et la variation de la vitesse du moteur en modulant la tension aux bornes du moteur. De plus, le pont en H permet d'effectuer un freinage magnétique s'il est capable d'en dissiper la puissance générée. Cette opération s'effectue en actionnant soit les deux commutateurs supérieurs ou inférieurs en même temps, ce qui court-circuite les bornes du moteur, et le fait par conséquent freiner. Mieux encore, il est possible avec un peu d'électronique et un contrôleur perfectionné d'effectuer un freinage régénératif. Dans le cas d'une alimentation à batterie, l'énergie est renvoyée aux batteries plutôt que dissipée dans les commutateurs du pont. [28]

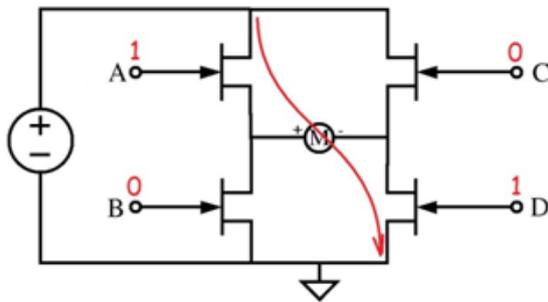


Figure III.8 : Le moteur tourne a droite

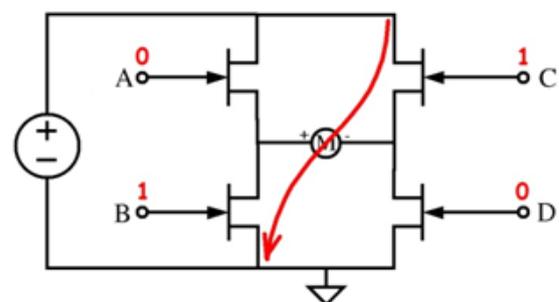


Figure III.9: Le moteur tourne a gauche

Le sens de rotation du moteur est obtenu selon l'état des quatre transistors, le tableau 2 présente les différents états du moteur.

In1	In2	Q1	Q2	Q3	Q4	Etat moteur
0	0	Saturé	Saturé	Bloqué	Bloqué	Arrêt
0	1	Saturé	Bloqué	Bloqué	Saturé	Sens1
1	0	Bloqué	Saturé	Saturé	Bloqué	Sens2
1	1	Bloqué	Bloqué	Saturé	Saturé	Arrêt

Tableau III.2 : Sens de rotation du moteur selon l'état des transistors

4.4.1. Description des signaux PWM

PWM veut dire Pulse Width Modulation ou en français MLI pour Modulation à Largeur d'Impulsion. Le but du 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 dans la figure suivante :

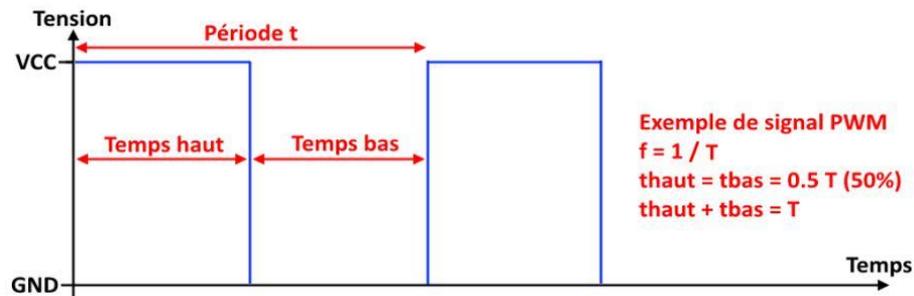


Figure III.10 : Signal PWM

Grace à l'utilisation des transistors, nous pouvons choisir de connecté notre charge (notre moteur) à la source de tension continue ou le la déconnecter de cette source. Nous définissons ainsi 3 choses :

- La période T du PWM. Nous parlons plutôt de fréquence du PWM (l'inverse de la période). La fréquence du PWM est environ de 20kHz.
- Le temps d'enclenchement (Temps haut).
- Le temps de déclenchement (Temps bas).

4.4.2 Taux du PWM

La tension moyenne vue par la charge est donc dépendante du rapport entre temps d'enclenchement et temps de déclenchement, nous parlons de Taux du PWM, donné habituellement en %, comme illustre la figure10.

Pour l'exemple montré avec 24 Volts, le PWM nous permet donc de balayer toute la plage de 0V (taux de 0%) à 24V (taux de 100%) et ainsi avoir une source variable de 0 à 24 V. Le PWM se caractérise par :

- La période PWM :

$$T_{pwm} = T_e + T_d$$

- Le rapport cyclique d'impulsion α :

$$\alpha = T_e / T$$

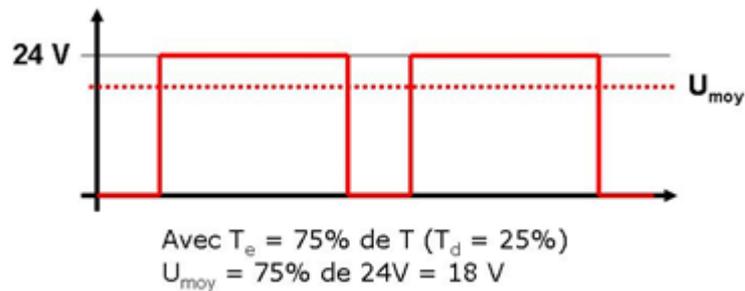


Figure III.11 : L'allure de la tension moyenne

4.4.3 Allure du courant

Notre charge étant un moteur (circuit R-L), le courant monte et descend donc de façon exponentielle à chaque enclenchement et déclenchement.

Evidemment plus la fréquence du PWM est élevée moins le courant "oscillera" autour de sa valeur moyenne, comme présente la Figure 11.

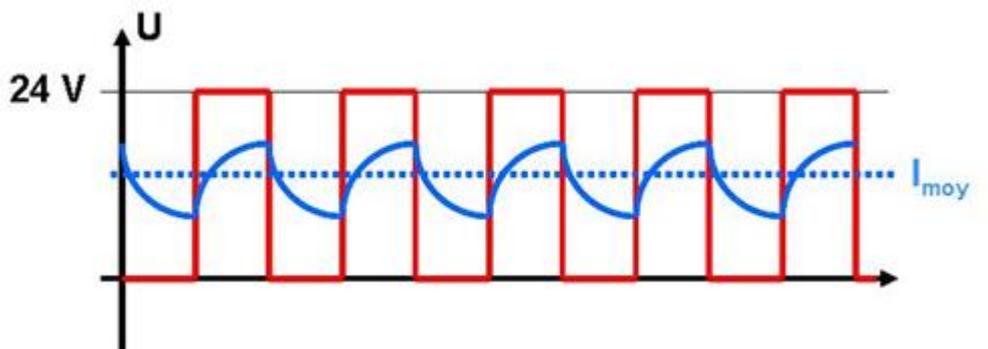


Figure III.12 : L'allure du courant

4.5 Les motoréducteurs

Le Moteur de pilotage est de (24V). Il est conçu spécifiquement pour les fauteuils roulants électriques. Le moteur intègre un système de freinage. Le frein de parc et les brosses sont protégés par un abri métallique. Un levier facilement opéré sur le réducteur permet le dégagement des engrenages et pour basculer en mode pousser manuel de la chaise.

Généralement ces moteurs sont caractérisés par leur tension de fonctionnement, leur puissance et leur vitesse (250 W / 36 V). Les deux moteurs du fauteuil roulant électrique sont pilotés par la carte de puissance, la Figure III.10 présente un moteur à courant continu associé à un motoréducteur du fauteuil.

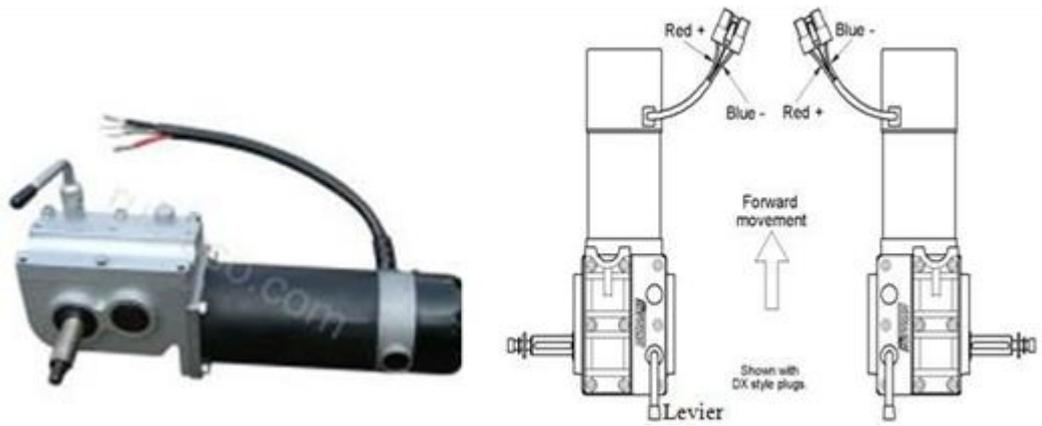


Figure III.13 : Moteur à courant continu associé à un motoréducteur du fauteuil

5. Contrôleur de vitesse (ESC)

ESC (Electrical Speed Controller) acronyme anglais pour « Contrôleur de vitesse électronique » est ce qui permet au contrôleur de vol de contrôler la vitesse et la direction d'un moteur. Il est capable de gérer le courant maximum que le moteur peut consommer, et de le fournir à la bonne tension. [26]

Cette figure représente schéma de câblage de moteur BLDC avec un contrôleur de vitesse ESC et un joystick (potentiomètre)

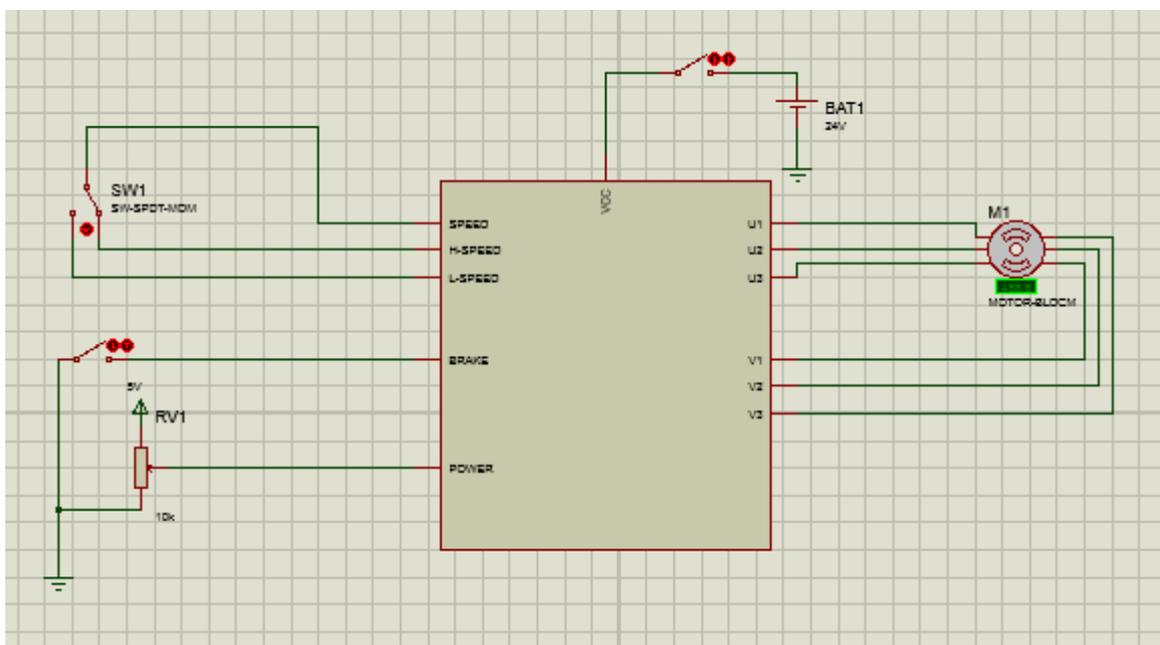


Figure III.14 : Schéma de câblage du moteur BLDC

Cette illustration montre les compositions de contrôleur de vitesse .

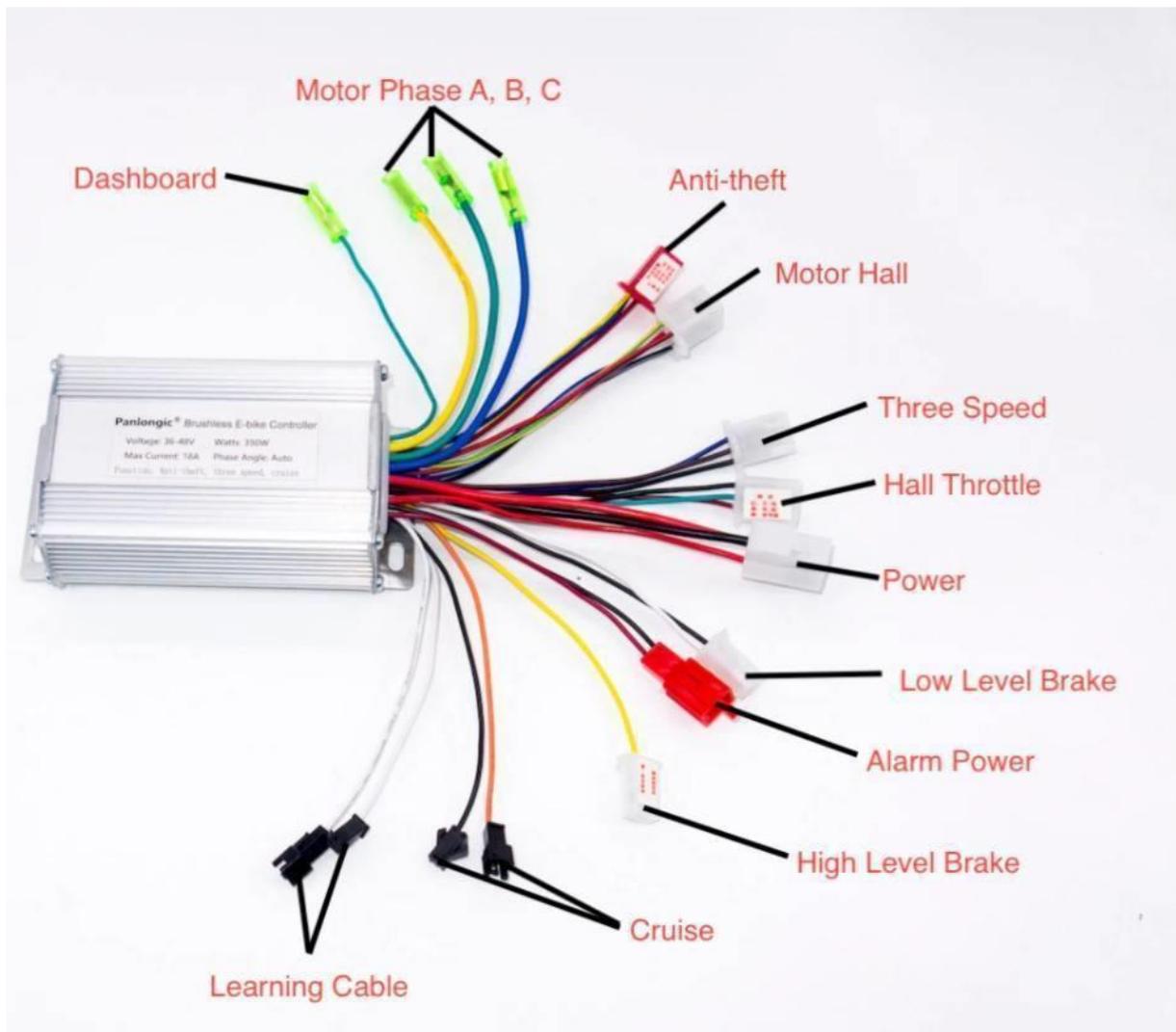


Figure III.15 : Contrôleur de vitesse (ESC)

5.1 Variation de la tension

Pour réguler la vitesse d'un moteur brushless il faut donc faire varier la tension d'alimentation de chaque bobinage, tout en maintenant une fréquence de commutation adaptée à la fréquence de rotation mesurée du moteur. [27]

En pratique, les contrôleurs de moteurs brushless les plus performants peuvent intégrer les deux fonctions : commutation des bobines en fonction des données des capteurs à effet hall, et régulation de la vitesse en PWM sur l'alimentation de chaque bobine. On doit contrôler la tension pour faire varier le RPM (Révolution par minute), il est utilisé comme une mesure de révolution du moteur, ce qui signifie à quelle vitesse le moteur va tourner. [28]

5.1.1 La position du moteur

- Le contrôleur a besoin de connaître la position de l'aimant pour faire basculer le courant dans les bobines.
- Deux solutions sont possibles :
 - ✓ Utiliser le courant induit dans la bobine non-alimentée.
 - ✓ Mettre des capteurs à effet de hall.

C'est la deuxième solution qui est maintenue pour l'aéromodélisme (plus simple). Au démarrage, ce principe n'est pas utilisable. Alors on démarre comme un moteur pas-à-pas. La fréquence augmente petit-à-petit (programmable dans certains cas par l'utilisateur). [29]

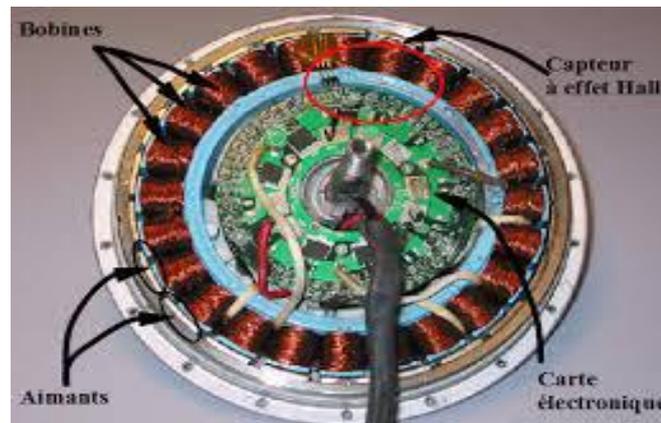


Figure III.16 : brushless avec capteur à effet Hall

5.1.2 Commutation du courant

Globalement, la vitesse maximale d'un moteur brushless est liée à sa tension d'alimentation, ou du rapport cyclique dans le cas d'une commande en PWM, par un coefficient appelé Kv. La valeur de ce coefficient dépend de la construction du moteur (nombre de bobines, de pôles, d'encoches, type de fil pour les bobines, ...). Contrairement à un moteur synchrone triphasé ou on ajuste la fréquence pour obtenir la vitesse souhaitée, ici c'est la vitesse du moteur brushless qui va indiquer au contrôleur à quelle fréquence il doit assurer la commutation. [30]

Le contrôleur est composé de transistors MOS pilotés par un microcontrôleur. Il en faut au moins six (deux par bobine) pour former six interrupteurs. Voici un schéma montrant le système de commutation des bobines du stator : [31]

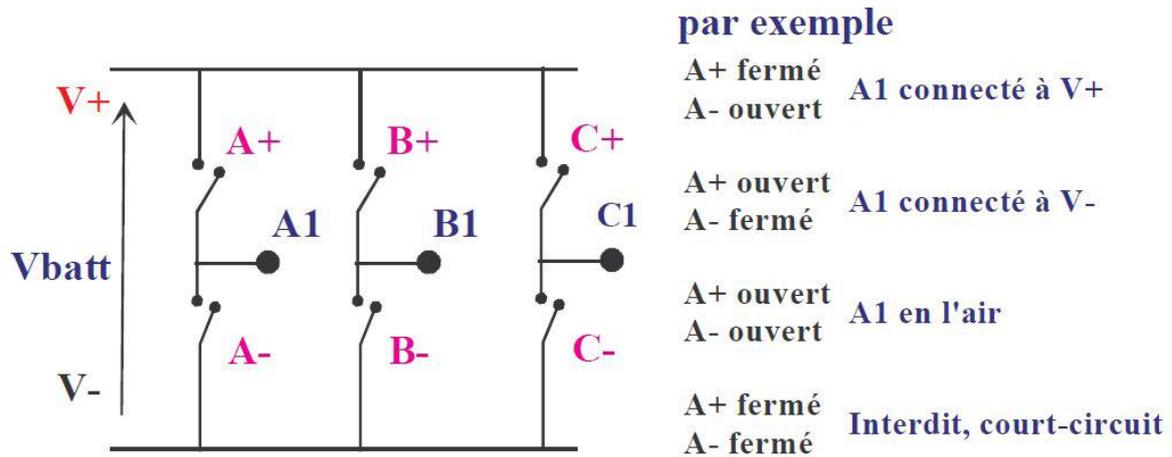


Figure III.17 : commutation des bobines du stator

5.2 La simulation

La simulation nous a permis de tester et vérifier le bon déroulement du programme et de valider les tapes précédente pour passer à l'étape finale qui est celle de réalisation pratique de ce projet. La simulation joue un rôle important, elle permet de savoir le projet fonctionne ou pas c'est pour cela qu'on a opté pour une simulation sur ISIS afin d'avoir une idée sur le fonctionnement de notre système.

5.2.1 Logiciel de simulation PROTEUS

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM. [32]

5.2.2 Simulation d'un ESC

Le moteur à courant continu sans balais est un moteur à courant continu triphasé qui nécessite un contrôleur pour alimenter ses 3 phases. Ce contrôleur est appelé ESC (Electronic Speed Controller).

Ce schéma synoptique de fonctionnement montre comment piloter un moteur Brushless DC à l'aide d'Arduino où la vitesse est contrôlée avec un potentiomètre.

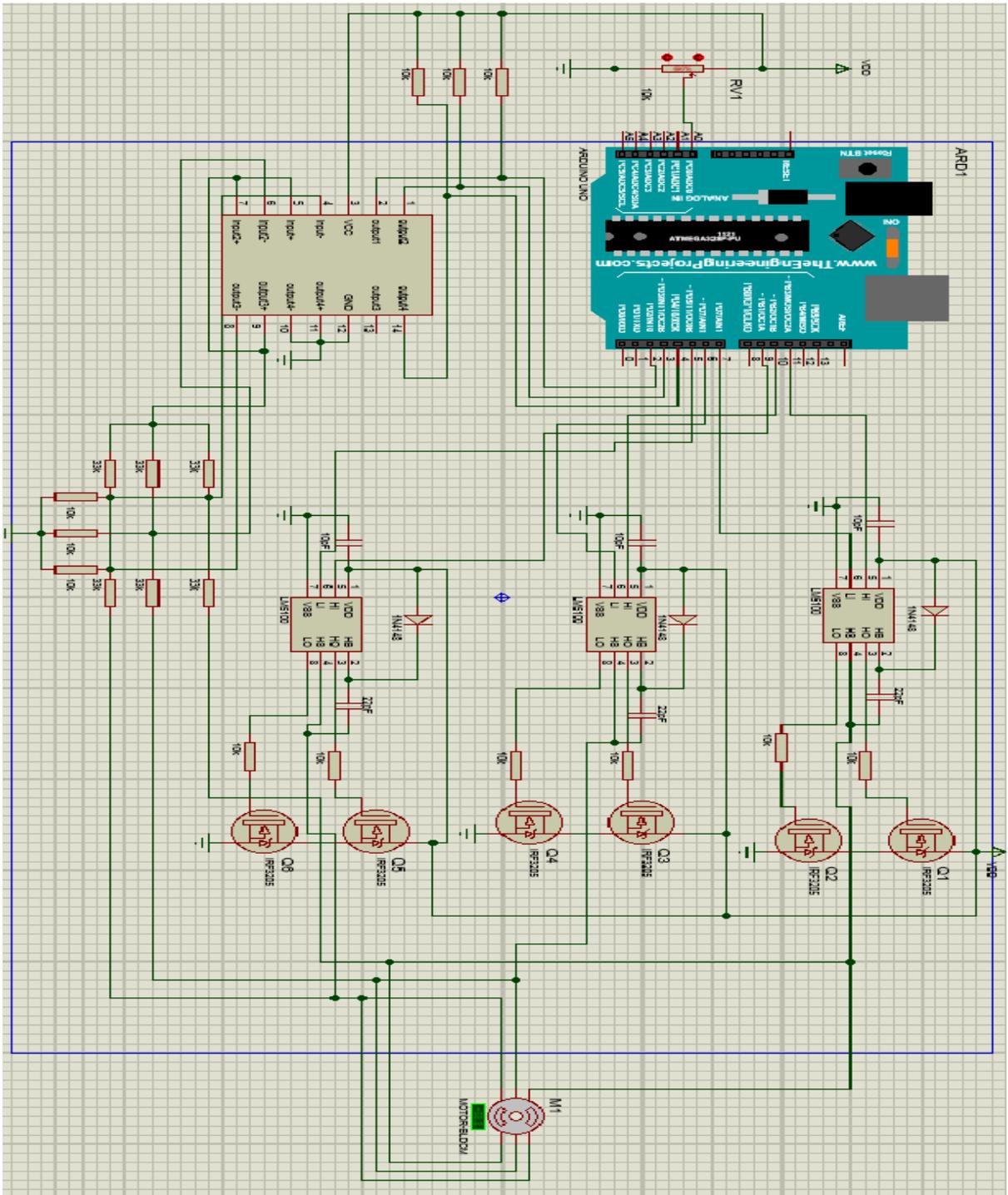


Figure III.18 : Schéma synoptique de fonctionnement.

6 Conclusion

Ce chapitre a présenté les caractéristiques de notre fauteuil roulant électrique, nous sommes intéressé tout d’abord au choix du fauteuil roulant électrique et à la description de la partie commande et la partie de puissance.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le développement technologique a permis aux handicapés moteurs une amélioration de la mobilité, commençant pour les chaises roulants manuelles et finissant maintenant par des robots adaptés à la mobilité

Le projet présenté est une amélioration des chaises roulants actuelles par l'utilisation des moteurs DC brushless au lieu de moteurs DC +réducteurs conventionnel, vues les performances de ces moteurs, le projet réalisé a permis une conception d'une chaise dont les performances sont meilleures par rapport au chaise à moteur

- ✓ Le control de vitesse
- ✓ L'autonomie/ consommation
- ✓ Le poids

Le système de commande est réalisé par une manette pour le contrôle de la vitesse, la direction et le freinage, d'autre options peuvent être rajoutées a la chaise talques : les feux de stop, la musiqueetc, l'utilisation de moteurs DC Brushless dans les chaises mobiles ouvert un axe de recherche dans lequel le développement d'un contrôleur dédié a la chaise avec manette adapté

Il est évident que les performances de commande d'autonomie et mobilité seront jugés après plusieurs test par des utilisations handicapés.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Vignier N., Ravaud J.F. (2008) Les utilisateurs de fauteuil roulant en France : aspects socioépidémiologiques. In : Le Fauteuil roulant. Actes des 21ème entretiens de la Fondation Garches. Pp. 21-33.
- [2] <https://als.be/sites/default/files/uploads/Conseil29.pdf>
- [3] Vignier N., Ravaud J.F. (2008) Les utilisateurs de fauteuil roulant en France : aspects socioépidémiologiques. In : Le Fauteuil roulant. Actes des 21ème entretiens de la Fondation Garches. Pp. 21-33.
- [4] Yanco, H. A. (1998). Wheellesley: A robotic wheelchair system: Indoor navigation and user interface. Lecture Notes in Computer Science, 1458, 256.
- [5] P Mallet, G Schöner —WAD Project where Attractor Dynamics aids wheelchair navigation“. Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems. EPFL, Lausanne, Switzerland October 2002.
- [6] E Bicho, P Mallet and G. Schöner, Using Attractor Dynamics to control autonomous vehicle motion, “In Proceedings of IECON‘98, IEEE Industrial Electronics Society, pp. 1176-1181, 1998.
- [7] Levine, S. P., Bell, D. A., Jaros, L. A., Simpson, R. C., Koren, Y., Member, S., & Borenstein, J.(1999). The NavChair assistive wheelchair navigation system. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 7, 443–451, 1999.
- [8] ES. Boy, CL. Teo, E. Burdet. “Collaborative wheelchair assistant”. Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS); 2002 Sep 30 Oct 5; Lausanne, Switzerland. Piscataway (NJ): IEEE; 2002. p. 1511–16.
- [10] <http://projet.eu.org>. [En ligne] [Citation : 25 01 2020.]
<http://projet.eu.org/pedago/sin/1ere/9-mcc.pdf>.
- [11] http://oasis.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2015-12/cours_mcc.pdf

- [12] <http://www.moteur-industrie.com/moteurs-a-courrant-continu.html#:~:text=Le%20principal%20avantage%20d'un,'aide%20d'un%20gradateur.&text=Si%20le%20moteur%20tourne%20%C3%A0,fixation%20des%20bobinages%20du%20rotor.>
- [13] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/9005/9005-moteurs-brushless-v3.pdf>
- [14] <http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>
- [15] <https://mailattachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=f5dab1313b&attid=0.1&permmsgid=msg>
- [16] <https://dl.ummo.dz/bitstream/handle/ummo/8466/HacidFatmaZohra.pdf?sequence=1>
- [17] <https://www.digikey.fr/fr/blog/using-blcdc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1>
- [18] <http://claude.lahache.free.fr/coursts1elpartie/introduction-moteurs-electriques.pdf>
- [19] <https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/>
- [20] https://sitelec.org/download.php?filename=cours/modelisation_brushless.pdf
- [21] https://www.leselectroniciens.com/sites/default/files/cours/gpa668_pas_a_pas_e2011.pdf
- [22] <https://openclassrooms.com/forum/sujet/moteur-pas-a-pas-et-les-moteurs-brushless>
- [23] U. Borgolte, H. Hoyer, C. Buehler, H. Heck, R. Hoelper. “*Architectural concepts of a semi-autonomous wheelchair*”. J Intell Robotic Syst.1998;22(3/4):233–53.
- [24] Wang, H., Ishimatsu, T.:”Vision-based Navigation for an Electric Wheelchair Using Ceiling Light Landmark”, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 41, 4, 283-314, 2005.
- [25] <https://docplayer.fr/15068053-Conception-et-realisation-d-une-plate-forme-de-commande-d-un-fauteuil-roulant-electrique-bouzidi-mohamed-wali-mohamed.html>
- [26] www.Wikipedia.org
- [27] <http://www.cours.polymtl.ca/inf1995/materiel/pontH/>
- [28] <http://www.4qdttec.com/bridge.html>

[29] <https://www.robotshop.com/community/blog/show/comment-fabriquer-un-droneuav-leon-3-propulsion>

[27] <http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>

[28] <https://www.tomshardware.fr/articles/multirotor-quadcopter-fpv,2-914-6.html>

[29] http://ekldata.com/YNj7ZfCPYQySywCuwLBd8IrjcEY/03_CH03-1_Brushless_V01.pdf

[30] <http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>

[31] http://ekldata.com/YNj7ZfCPYQySywCuwLBd8IrjcEY/03_CH03-1_Brushless_V02.pdf

[32] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>

COMMUNICATIONS

SCIENTIFIQUES

Résumé:

Les handicapés trouvent aujourd'hui dans les chaises roulantes un moyen de mobilité très efficace. Avec le développement technologique, les chaises roulantes ont vu un développement très important, commençant par un les chaises à propulsion manuelle et arrivant aujourd'hui à des chaises motorisées avec beaucoup d'options de confort tel que la musique, l'over tisseur sonore et lumineux.

L'objectif de ce projet est de développer une chaise roulante à base de moteurs DC Brushless. Ces moteurs sont connus pour leurs performances et simplicité dans l'implémentation dans un système mobile.

La réalisation de la chaise a permis de monter les performances (autonomie, comblement, poids et simplicité) comparées à une chaise propulsée par moteurs DC.

Abstract:

People disabilities now find wheelchairs a very efficient means of mobility. With the technological development, the wheelchairs have seen a very important development, starting with a manual propulsion chairs and arriving today at motorized chairs with a lot of comfort options such as music, sound over weaver and luminous. The objective of this project is to develop a wheelchair based on brushless DC motors. These engines are known for their performance and ease of implementation in a mobile system. The realization of the chair made it possible to increase the performances (autonomy, size, weight and simplicity) compared to a chair propelled by DC motors.

ملخص:

يجد الأشخاص الذين يعانون من إعاقات حركية أن الكراسي المتحركة وسيلة فعالة للغاية للتنقل. مع التطور التكنولوجي، شهدت الكراسي المتحركة تطوراً مهماً للغاية، بدءاً من كراسي الدفع اليدوي ووصولاً اليوم إلى الكراسي المزودة بمحركات مع الكثير من خيارات الراحة مثل الموسيقى والصوت الزائد والضوء. الهدف من هذا المشروع هو تطوير كرسي متحرك يعتمد على محركات DC بدون فرش. تشتهر هذه المحركات بأدائها وسهولة تنفيذها في نظام متنقل. من الممكن زيادة الأداء (الاستقلالية والحجم والوزن والبساطة) مقارنة بالكرسي الذي تدفعه محركات التيار المستمر.