

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية و الكهرو ميكانيك
Département d'Automatique et électromécanique
Mémoire de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme
Master

Domaine: Sciences et technologie
Filière: Energies renouvelables
Spécialité: Energies renouvelables en électrotechnique

Thème

**Commande d'une chaise roulante électrique
alimentée par un panneau photovoltaïque (PV)**

Présenté par : **RAMDANI Zahira**

Soutenu publiquement le 13/06 /2026

Devant le jury composé de:

MOUSSA Oussama	MCA	Univ-Ghardaïa	Président
DJELLOULI Tahar	MCB	Univ-Ghardaïa	Encadreur
ALLALI Mohamed	MAA	Univ-Ghardaïa	Examineur
SELLAH Mourad	MCB	Univ-Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2025 /2026

ملخص:

يركز هذا العمل على التحكم في كرسي متحرك كهربائي يعمل بمحرك تيار مستمر، ويُغذى ببطارية تُشحن ذاتيًا بالطاقة الشمسية، مستغلا دمج الألواح الشمسية الكهروضوئية (PV) على هيكل الكرسي (يوضع على السقف) لتوفير مصدر طاقة متجددة لإعادة شحن بطاريته. يُمثل التحكم في كرسي متحرك كهربائي حلاً بالغ الأهمية لتعزيز استقلالية الأشخاص ذوي الإعاقة الحركية. تتكون سلسلة تحويل الطاقة من لوحة كهروضوئية حيث تُحوّل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية مُخزّنة، وبطارية تُخزّن هذه الطاقة وتُشغّل محرك تيار مستمر، الذي يُحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. يعتمد البحث على نموذج رياضي لمحاكاة مكونات النظام في ظل ظروف تشغيل مختلفة، باستخدام برنامج MATLAB/Simulink.

الكلمات المفتاحية: كرسي متحرك كهربائي، محرك تيار مستمر، الطاقة الشمسية، الألواح الكهروضوئية (PV)، بطارية، محاكاة، برنامج MATLAB/Simulink

Résumé:

Ce travail porte sur la commande d'une chaise roulante électrique (CRE) entraînée par un moteur à courant continu alimenté par une batterie chargée autonome par l'énergie solaire en explorant également l'intégration du panneau solaire Photovoltaïque (PV) sur la structure de la chaise roulante notamment le toit afin de fournir une source d'énergie renouvelable pour recharger sa batterie. La commande d'une CRE représente une solution essentielle pour améliorer l'autonomie des personnes à mobilité réduite.

La chaîne de conversion d'énergie se compose d'un panneau photovoltaïque, qui convertit l'énergie solaire en énergie électrique continue stockée et d'une batterie qui stocke cette énergie électrique et elle alimente un moteur à courant continu, qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. La recherche est basée sur un modèle mathématique pour simuler les parties du système dans différentes conditions de fonctionnement, à l'aide du logiciel MATLAB/SIMULINK.

Mots- clés : Chaise roulante électrique (CRE); moteur à courant continu; batterie; Photovoltaïque (PV); personnes à mobilité réduite; MATLAB/Simulink.

Abstract:

This work focuses on controlling an electric wheelchair (EW) driven by a DC motor powered by a battery charged autonomously by solar energy. It also explores the integration of photovoltaic (PV) solar panels onto the wheelchair's structure (roof) to provide a renewable energy source for recharging its battery. Controlling an EW represents a crucial solution for improving the independence of people with reduced mobility.

The energy conversion chain consists of a photovoltaic panel, which converts solar energy into stored DC electrical energy, and a battery that stores this electrical energy and powers a DC motor, which converts the electrical energy into mechanical energy. The research is based on a mathematical model to simulate the system components under various operating conditions, using MATLAB/Simulink software.

Key words: Electric wheelchair (EW) , DC motor, solar energy; photovoltaic (PV); solar panels; MATLAB/Simulink.

Remerciements

Je commence par remercier Mon Dieu pour son soutien et sa guidance à chaque étape de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette recherche.

*Tout d'abord, je remercie chaleureusement mon encadreur, M. **DJELLOULI Tahar**, pour ses orientations, ses conseils précieux et son soutien constant. Son expertise et sa patience ont été essentielles à l'aboutissement de ce travail.*

*Je tiens également à exprimer ma gratitude au chercheur de l'unité UREAR M. **BEN BAHBA Nouredine** pour les connaissances et les compétences qu'il nous a transmises tout au long de ce projet. Son dévouement et sa passion pour notre enseignement ont été une source d'inspiration constante.*

Je remercie sincèrement mes camarades de classe pour leur amitié, leur solidarité et les discussions constructives qui ont enrichi notre parcours académique.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à ma famille, en particulier à mes parents pour leur soutien indéfectible, leur amour et leurs encouragements constants tout au long de cette aventure académique. Sans eux, ce projet n'aurait pas été possible.

Enfin, Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette recherche. Leur aide, leurs conseils et leurs encouragements ont été d'une grande valeur. Avec toute ma gratitude

Dédicace**إهداء:**

(وَ آخِرَ دَعْوَانَا أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

بسم خالقي و ميسر أموري وعاصم أمري، لك كل الحمد و الامتنان .

أهدي هذا النجاح لنفسي أولاً، ثم إلى كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة دمت لي سنداً لا
عمر له

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار، إلى من أحمل اسمه بكل فخار، إلى من حصد الأشواق عن
دربي ليمهد لي طريق العلم، بعد فضل الله يعود الفضل إلى أبي، الرجل الذي سعى طوال
حياته لكي نكون أفضل منه - أبي الغالي-

إلى ملاكي في الحياة، إلى معنى الحب والحنان والتفاني، إلى بسملة الحياة وسر الوجود، إلى
من كان دعاؤها سر نجاحي، التي كانت لي الأم والأخت والصديقة، داعمي الأول ووجهتي
التي أستمد منها القوة - أمي الحبيبة-

إلى من بذلوا جهداً في مساعدتي وكانوا عوناً وسنداً، إلى الشموع التي تنير طريقي - إخوتي
وأخواتي-

إلى رفقاء الروح الذين شاركوني خطوات هذا الطريق، إلى من هونوا تعب الطريق، إلى من
شجعوني على المثابرة وإكمال المسيرة

لله الشكر كله أن وفقني لهذه اللحظة، فالحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على نبيه
الكريم.

زهيرة بنت رمضان

Sommaire

Introduction générale	
Introduction générale:	1
Chapitre I: Généralités sur la chaise roulante électrique (CRE)	
I.1. Introduction :	3
I.2. Bref historique :	3
I.3. Catégories des chaises roulantes:	6
I.3.1. Chaise roulante manuelle (FRM):	6
I.3.1.1. Chaises roulantes pliantes:	6
I.3.1.2 Chaises roulantes pour sujets hémiplégiques:	8
I.3.1.3. Chaise roulante de confort:	10
I.3.1. 4 Chaises en acier traditionnelles	10
I.3.1.5. Chaises roulantes multisports :	11
I.3.1.6. Chaises roulantes pour enfants :	11
I.3.2. Chaises roulantes électriques (CRE) :	12
I.3.2.1. Description générale d'une chaise roulante électrique :	12
I.3.2.2 Les différents types de Chaises roulantes électriques:	14
I.3.2.2. Chaises roulantes pliantes ou démontables	14
I.3.2. 3. Chaises Roulantes Electriques à châssis:	14
I.3.2.4. Motorisations électriques:	16
I.4. Conclusion:	17
Chapitre II : Moteur de la chaise et sa commande	
II.1. Introduction :	18
II .2. Principe de fonctionnement de la chaise roulante:	18
II.3. Types des moteurs utilisés pour la CRE:	19
II.3.1. Moteur à courant continu (MCC):	19
II.3.2. Moteur brushless:	19
II.3.3. Moteur à aimants permanents:	19
II.4. Choix du moteur pour la CRE:	20
II.5 Moteur à Courant Continu (Moteur DC):	20
II.5.1. Rôle et Principe Générale:	20
II.5.2 Expression de la f.é.m :	20
II.5.3 Moment du couple électromagnétique:	21
II.5.4. Différents types d'excitations de la MCC:	21
II.5.5. Réglage de la vitesse du moteur MCC:	22

Sommaire

II.5.5.1. Eléments de réglage:	22
II.5.5.2. Modélisation de la MCC:	22
II.5.5.3. Fonction de transfert de la MCC:2	24
II.5.5.4. Dimensionnement du régulateur de vitesse:	25
II.5.5.5. Schéma fonctionnel du réglage de la vitesse :	25
II.5.5.6. Résultats de simulation:	26
II.6. Conclusion :	30
Chapitre III : Charge de la batterie par un système PV	
III.1. Introduction :	31
III.2.2. Bref historique de l'énergie photovoltaïque:	31
III.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque:	32
III.2.4. Technologie d'une cellule photovoltaïque :	34
III.3. Spectre du rayonnement solaire :	36
III.3.1. Composantes du rayonnement solaire arrivant au sol:	36
III.3.2. Types de rayonnement:	38
III.4. Caractéristique d'une cellule PV:	39
III.4.1. Caractéristique courant tension $I(V)$:	39
III.4.2. Courant de court-circuit (I_{cc}):	40
III.4.3. Tension de circuit-ouvert (V_{co}):	41
III.4.4. Puissance de la cellule PV:	42
III.4.5. Puissance maximale d'une cellule PV:	43
III.4.6. Facteur de forme:	44
III.4.7. Avantages et inconvénients d'une installation PV:	44
III.5. Influence des paramètres climatiques:	46
III.5.1. Influence de l'irradiation:	46
III.5.2. Influence de la température:	47
III.6. Modélisation de cellule PV:	47
III.7. Simulation d'une cellule PV:	49
III.8. Techniques de commande de MPPT (P&Ø):	50
III.9. Simulation avec MPPT (régulateur):	51
III. 10. Choix d'une batterie pour la CRE	52
III.11. Conclusion:	53
Conclusion Générale	
Conclusion Générale:	54
Références bibliographiques	56
Annexes	59

Liste de figures

Fig. I.1: Véhicule inventé par Fontana en 1420	3
Fig.I.2: Handbike	4
Fig. I.3: Chaise roulante à manivelles de Farfler en 1655	4
Fig I.4: Vélocimane La Pavane	5
Fig I.5: 1ère CRM moderne de H.C. Jennings et H.A. Everest en 1932	5
Fig.I.6: Elements descriptifs	6
Fig I.7: Chaise roulante classique	7
Fig I.8: Multiplicateur de roues arrière sur CR légère	7
Fig I.9: Chaise roulante haute de gamme	7
Fig.I.10: CR hémiplégique à levier pendulaire	8
Fig. I.11: Propulsion hémiplégique à levier	8
Fig. I.12 CR hémiplégique à double main	9
Fig. I.13: Propulsion CR hémiplégique à double main	9
Fig. I.14: Chaise roulante à propulsion pédale	9
Fig. I.15: Chaise roulante de confort	10
Fig. I.16: Chaise roulante de confort	10
Fig. I.17: Chaise roulante multisports	11
Fig I.18 : Description d'une chaise roulante de type Ottobock b400	13
Fig.I.19: CRE à châssis pliant	14
Fig.I.20: CRE à châssis pliant démonté	14
Fig.I.21: Chaise roulante électrique à châssis fixe	15
Fig.I.22: CR manuelle avec assistance électrique	16
Fig.I.23: Roue arrière avec motorisation d'assistance électrique	16
Fig II.1: Diagramme fonctionnel des composantes électriques de la CRE	18
Figure. II.2: Types d'excitations des Moteurs à courant continu	21
Figure II.3 – Schéma équivalent d'un moteur à courant continu	22
Figure II.4. Schéma fonctionnel du modèle MCC	23
Figure II.5. Schéma fonctionnel de réglage de la vitesse d'un MCC	24
Fig. II. 6: Résultats de simulation d'un MCC sans réglage	26
Fig. II. 7: Résultats de simulation d'un MCC avec réglage	28
Fig. II.8: Test de robustesse de la commande d'un MCC	29
Figure III.1 : Principe de l'effet photoélectrique	32
Fig. III.2. Schéma d'une cellule solaire à jonction p-n	34
Fig. III.3 : Etape de fabrication des cellules	34
Fig. III.4 : cellule mono cristalline et poly cristalline	35
Fig. III.5 : Analyse spectrale du rayonnement solaire	37
Figure III.6 : Différents composants du rayonnement	38
Figure III.7 : Caractéristique I(V) d'une cellule solaire, T=25°C	39
Figure III.8: Le courant de court-circuit noté I_{cc}	40
Figure III.9 La tension en circuit ouvert notée U_{co}	40
Figure III.10 : Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire	41

Liste de figures

Figure III.11. Caractéristique puissance-tension d'une cellule solaire	42
Figure III.12 : caractéristique courant-tension illustre le point $P_{\max}$ d'un PV.	43
Fig. III.13 : Caractéristique (I-V) et (P-V) du module en fonction de l'irradiation	45
Fig. III.14 Caractéristique (I-V) (P-V) du module en fonction de la température	46
Figure.III.15 : Schéma électrique d'une cellule PV	47
Fig.III.16: Bloc Simulink de simulation d'une cellule PV	48
Figure.III.17 : Caractéristique I(V) et P(V) d'un PV pour différentes éclairements	48
Figure.III.18 : Caractéristique I(V) et P(V) d'un GPV pour différentes température	48
Figure.III.19 : MPPT algorithme P&O	50
Figure.III.20: Tension délivrée par le PV pour charger la batterie	50
Figure.III.21: courant de PV pour charger la batterie	51
Figure.III.22: Puissance d'un PV en charge de la batterie	51
Figure.III.23: Un panneau PV au toit de la CRE	52
Figure.III.24: Un panneau PV pliant sur la CRE	52
Figure.III.25: Structure d'une chaine de conversion d'énergie	52

Liste de Tableaux

Tableau	page
I-1 Nomenclature des parties de la chaise roulante manuelle	05
II.1 Paramètres principaux d'une CRE	29

Liste d'abréviations

PV	Photovoltaïque
MCC	Moteur à Courant Continu
GPV	Générateur photovoltaïque
MPPT	Maximum power point tracking
DC	Direct Current (Courant continu)
AC	Alternatif Current (Courant alternatif)
G	Accélération de la pesanteur
E_{ele}	Energie quotidien
P_c	Puissance crête
N_s	Nombre des modules en série
N_p	Nombre des modules en parallèle
Q	Charge de l'électron $1.602 \cdot 10^{-19}$ C
K	Constant de Boltzmann $1.381 \cdot 10^{-23}$ J/K
A	Facteur d'idéalité
V	Tension à borne de diode
E_1	Isolation de référence de la cellule
K_i	Le coefficient de température du courant de court-circuit de la cellule
T_c	Température de la cellule en kelvin
I_{sc}	Courant de court-circuit
I_{rs}	Courant de saturation
R_s	Résistance série
R_{sh}	Résistance parallèle
U_T	Tension thermique
POD	Profondeur de décharge de batterie
P	Puissance active
Q	Puissance réactive
V_{oc}	Tension de circuit ouvert
V_{mp}, V_{MMP}	Tension au point de puissance maximale
I_{mp}, I_{MMP}	Courant au point de puissance maximale
PWM	Modulation de largeur d'impulsion

Introduction générale

Introduction générale:

L'autonomie de mouvement est un pilier fondamental de l'intégration sociale et de la dignité des personnes à mobilité réduite. Historiquement, les aides à la locomotion ont évolué de simples dispositifs manuels vers des systèmes motorisés complexes. Cependant, la chaise roulante (CR) permet aux personnes de se déplacer par elles-mêmes sans dépendre constamment d'une aide extérieure, augmentant leur confiance en soi, aussi elle facilite la participation à la vie quotidienne, l'accès au travail et le maintien du lien social. Si cette chaise est électrique, elle sera plus avantageuse par rapport à la manuelle ou à moteur mécanique, notamment la commande facile, souple et silence, les Chaises roulantes électriques (CRE) classiques se heurtent souvent à une contrainte majeure : la dépendance énergétique vis-à-vis des batteries et la nécessité de recharges fréquentes sur le réseau électrique, ce qui limite considérablement le périmètre d'action de l'utilisateur[1].

Dans une perspective de développement durable et d'exploitation des énergies renouvelables, l'intégration de la technologie photovoltaïque émerge comme une solution technique prometteuse[2]. Ce mémoire de fin d'études de Master porte sur l'étude et la conception d'un système de propulsion pour une chaise roulante alimentée par un panneau photovoltaïque (PV) en exploitant l'énergie solaire .

L'objectif est de coupler une motorisation à courant continu (DC), reconnue pour sa précision et son couple élevé, à une chaîne énergétique solaire capable de transformer le rayonnement en énergie électrique stockable, dans une batterie , garantissant la stabilité énergétique et par la suite des performances mécaniques des moteurs afin d'assurer un déplacement sûr, continu et propre écologique.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présentera des généralités sur la chaise roulante , en exposant un bref historique des chaises roulantes, les différents types des chaises manuelles et électriques, et une description générale d'une chaise roulante électrique. Cette section nous donne une vue globale sur notre système pour mieux comprendre l'importance de l'application d'un système PV pour offrir l'autonomie énergétique pour une personne à mobilité réduite .

Le deuxième chapitre se concentra sur la commande du moteur utilisé dans la chaise roulante électrique , en considérant que le moteur est le dispositif central du système de propulsion, il permet à la chaise de se déplacer sans effort physique de la part de l'utilisateur

Ce moteur est généralement installé sur les roues arrière du fauteuil. dans ce chapitre nous allons discuter sur les types des moteurs utilisés et les critères pour choisir un moteur capable de supporter des charges importantes tout en offrant une vitesse et une puissance adaptées aux besoins de l'utilisateur. Ensuite nous allons faire un réglage de vitesse du moteur choisi suivi par une série de simulation afin de valider la commande qui sera appliquée.

Le dernier chapitre sera dédié à la recharge de la batterie par un système photovoltaïque(PV), commençant par des généralités sur ce système, le principe de fonctionnement des cellules solaires, les différentes technologies disponibles, le dimensionnement d'un panneau PV, et la modélisation suivi par une simulation d'un système PV à travers d'un outil avancé (MATLAB/SIMULINK). Ce chapitre va explorer aussi la performance du système sous différentes conditions environnementales et opérationnelles.

Ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale qui offrira une vision complète des performances d'un système PV pour la charge d'une batterie , ouvrant ainsi la voie à des améliorations significatives dans leur conception et leur fonctionnement. Ces résultats contribueront à promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire dans divers utilisation, offrant une solution durable pour les personnes à mobilité réduite.

Chapitre I:

Généralités sur la chaise roulante électrique (CRE)

Chapitre I : Généralités sur la chaise roulante électrique

I.1. Introduction

La chaise roulante (CR) est un dispositif médical important qui garantit l'autonomie, la mobilité et l'intégration sociale des personnes handicapées ou à mobilité réduite. Véritable prolongement du corps, Elle permet de se déplacer, de travailler, d'interagir et de maintenir une qualité de vie en réduisant la fatigue et le risque de chute.

Cette chaise permet aux personnes de se déplacer par elles-mêmes sans dépendre constamment d'une aide extérieure, augmentant leur confiance en soi, aussi elle facilite la participation à la vie quotidienne, l'accès au travail et le maintien du lien social. Si cette chaise est électrique, elle sera plus avantageuse par rapport à la manuelle ou à moteur mécanique, notamment la commande et silence

La chaise roulante électrique CRE représente une solution essentielle pour améliorer l'autonomie des personnes à mobilité réduite. Grâce aux avancées en électronique, automatique et intelligence artificielle, il est possible de développer des systèmes de commande plus sûrs, intelligents.

I.2. Bref historique:

les premières traces de l'utilisation des roues par l'Homme datent de l'époque sumérienne (avant notre ère par 3500 ans environ). Elles servaient notamment en Égypte antique à équiper des sièges de roulettes dans le but de faciliter les déplacements de personnes socialement importantes ou à mobilité réduite. À cette époque, l'ancêtre de la chaise roulante ne possédait pas de roue motrice et une tierce personne était nécessaire pour faire avancer le système [2]

La première représentation de la CR connue, datée de 525 après J.C., vient de Chine [1].

En 1420, un inventeur italien nommé Fontana a mis au point le premier véhicule actionné par la force musculaire.

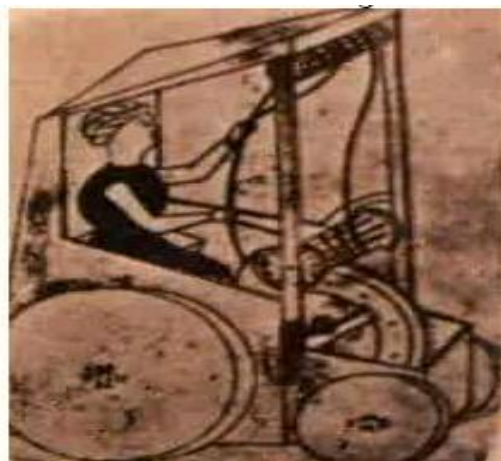


Fig. I.1: Véhicule inventé par **Fontana** en 1420

Plus tard, en 1595, Philippe II d'Espagne, souffrant d'une goutte douloureuse, inaugure la première CR de confort muni d'un dossier et de repose-pieds inclinables. En 1686, une «fistule» oblige Louis 14^{ème} à se déplacer sur ce qui devient sa « roulette ». Tous ces appareils sont poussés par un tiers.

En 1650, Faifler, un horloger allemand paraplégique, se fabrique un modèle de velocimane à trois roues, actionné par des manivelles entraînant la roue avant au moyen d'un engrenage. La personne handicapée devient autonome. C'est l'ancêtre de la voiturette à volant conçue entre les deux guerres par Poirier, bientôt imité par d'autres fabricants. Cet appareil connaît, sous la forme des *hand bikes* actuels (Fig.I.2), véritables vélos pour paraplégiques, un essor important.



Fig.I.2: Handbike

Plus tard, en 1655, l'inventeur allemand, Stephen Farfler, a permis à une personne assise de se déplacer par ses propres moyens en utilisant un système mécanique d'entraînement des roues : c'était la première chaise roulante à manivelles [2]



Fig. I.3: Chaise roulante à manivelles de Farfler en 1655

À la fin du 19^{ème} siècle, le développement de la bicyclette profite au fauteuil, dont les roues sont améliorées (rayons d'acier, bandages caoutchouc). À partir de la guerre de 1914- 1918, le fauteuil est en tubes réunis par des tôles sur lesquelles sont posés des coussins.

En 1933, l'américain Everest, paraplégique, conçoit avec son ami Jennings, ingénieur, un fauteuil révolutionnaire : peu encombrant, il se faufile partout et se plie pour être chargé en voiture. Importé en France dans les années 1950, la chaise Everest et Jennings rencontre vite un grand succès.

C'est ensuite par le sport que CR va poursuivre son évolution. En Angleterre, dès 1945, le Docteur Guttman organise les premières compétitions à l'hôpital de Stoke Mandeville. Course, basket, escrime, tous ces sports sont pratiqués en fauteuil et complètent remarquablement la rééducation.



Fig I.4: Vélocimane La Pavane

À partir des années 50, la recherche sur la locomotion en Chaise roulante a débuté avec des études portant sur les aspects physiologiques et biomécaniques. Depuis la fin des années 80, des équipes de recherche internationales ont marqué cette thématique, permettant de passer de la simple analyse qualitative à une compréhension précise des efforts fournis par le sujet et de la vitesse de déplacement du fauteuil [2].



Fig I.5: 1^{ère} chaise roulante manuelle moderne
conçue par H.C. Jennings et H.A. Everest en 1932.

L'amélioration des performances est liée à celle du matériel, qui évolue sans cesse : l'utilisation de matériaux nouveaux, les réglages du centre de gravité, le retour au châssis rigide, le carrossage des roues arrière, le passage temporaire à la roue avant unique puis son abandon, en sont les différentes étapes, progressivement adaptées aux fauteuils de la vie quotidienne. En parallèle, le développement des loisirs et l'imagination étonnante des patients ont favorisé la création de matériels de plus en plus spécifiques : fauteuil tout terrain, de parapente, etc. Enfin, on devrait assister, compte tenu de l'évolution démographique de la société, au développement de CR manuels réellement conçus pour les personnes âgées et actuellement inexistantes (les CR qui leur sont actuellement préconisés ne leur sont pas adaptés: CR de confort trop lourds ou CR classiques inconfortables)

Les améliorations ont ensuite porté sur la commande électronique, l'ergonomie du démontage des petits modèles, la sortie de motorisations légères avec à l'opposé du positionnement multifonctionnel pour les plus sophistiqués, ainsi que le développement des interfaces de conduite. Les progrès futurs devraient porter sur le confort de conduite (notamment les suspensions), les techniques d'apprentissage de la conduite et l'évaluation des fonctions cognitives des patients, ainsi que les systèmes d'assistance à la conduite pour les plus touchés au plan cognitif ou moteur (mouvement ou conscience).

I.3. Catégories des chaises roulantes

Avant de détailler les grandes catégories des Chaises roulantes (CR), la Fig. I.6 permet de retrouver les différents éléments descriptifs d'une (CR). Classer ces nombreux modèles dans des grandes catégories permet de mieux comprendre leur intérêt et leurs spécificités.



Figure I- 6 Chaise roulante générique et ses composants principaux

Les différents éléments descriptifs de la CR sont numérotés dans la figure précédente et sont mentionnés dans le tableau suivant:

1	Poignée de poussée pour tierce personne
2	Dossier
3	Levier de bascule arrière pour tierce personne
4	Grande roue arrière
5	Main courante
6	Petite roue avant
7	Accoudoir (manchette appui-bras)
8	Siège (coussin de siège)
9	Frein
10	Potence repose-pieds avec sangle de maintien des jambes
11	Palettes repose-pieds

I.3.1. Chaise roulante manuelle (FRM)

I.3.1.1. Chaises roulantes pliantes

Leurs performances et qualités se sont améliorées avec le temps. Certains disposent de caractéristiques autrefois propres aux seuls modèles haut de gamme tels le palier de roues arrière (mais avec des réglages plus limités), le grand choix d'options et de dimensions. On trouve un type **Classique** (Fig. I.7) qui a pour inconvénients d'être plutôt moins robuste que le haut de gamme ; il n'est donc pas vraiment prévu pour supporter les fortes contraintes occasionnées par un paraplégique menant une vie active.

Le type Haut de gamme est Caractérisé par des dimensions d'assise sur mesure, la présence d'un multi-palier de roues arrière et un grand choix d'options, ils sont onéreux mais solides et de bonne qualité. Plusieurs études américaines [3-5] ont montré sa supériorité générale par rapport au précédent (cependant, à équipement équivalent, il n'est guère plus léger, et mal réglé, il peut être dangereux : risque de bascule arrière).

Les dimensions « sur mesure », tous les 2 cm (choix de la largeur, de la profondeur d'assise et de la hauteur de dossier), permettent de s'adapter au mieux à la morphologie du patient qui peut ainsi faire corps avec son FR.

Le palier des roues arrière (Fig.I.8) permet de modifier leur position à partir de trois réglages :

- le réglage de la hauteur des roues arrière permet de modifier l'inclinaison de l'assise sur l'arrière (confort), de modifier le centre de gravité ainsi que la position des membres supérieurs sur les mains courantes, et donc la qualité de la propulsion qui est fonction du degré de flexion du coude. [6].
- le réglage de l'avancée des roues arrière améliore le roulement [7] et l'accès aux mains courantes en limitant la rétro-pulsion d'épaule ; il facilite aussi le « deux roues » mais majore le risque de chute arrière ;

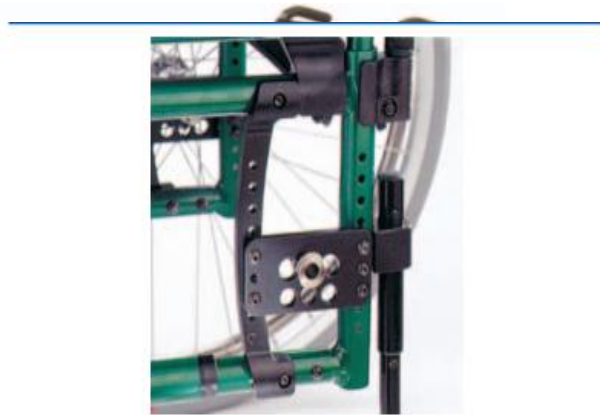


Fig I.8: Multipalier de roues arrière sur CR légère

- les possibilités de carrossage (écartement des roues arrière plus important en bas qu'en haut) améliorent le pivot et la stabilité mais élargissent le FR.

Beaucoup des auteurs, [8][9], ont étudié l'importance de ces différents réglages, encore insuffisamment utilisés car longs à modifier, mais déterminants pour tous les patients qui se propulsent seuls.

De nombreuses options (Fig I.9) sont disponibles : potences repose-pieds fixes ou amovibles, accoudoirs, roues arrière et avant (diamètres variés, pneumatiques ou bandages increvables), mains courantes (aluminium, inox, titane ou antidérapante, voire avec des ergots), flasques de protection des doigts, coloris.



Fig I.9: Chaise roulante haute de gamme

I.3.1.2. Chaises roulantes pour sujets hémiplégiques

Sauf exception, ces fauteuils ne donnent pas ou peu d'autonomie à l'extérieur du domicile ou dès qu'il y a des obstacles (côte, trottoir). Dans ce cas, si les capacités cognitives du patient le permettent, un FR électrique (FRE) peut être envisagé. On distingue trois modes de propulsion différents.

Système à levier pendulaire (Fig.I.10; I.11)

Le levier unique assure à la fois la propulsion et la direction. Utile à la phase initiale de rééducation, il est assez peu manœuvrable en appartement et difficile à pousser par une tierce personne en extérieur. C'est pourquoi, il n'est plus beaucoup prescrit. Lorsqu'il l'est, un second fauteuil, classique, reste souvent nécessaire pour les sorties.



Fig. I.10: CR hémiplégique à levier pendulaire



Fig. I.11: Propulsion hémiplégique à levier

Système hémiplégique à double main courante (Fig.I.12; I.13)

Deux mains courantes sont placées sur la même roue, du côté valide, la roue opposée étant actionnée par un pantographe en limite l'intérêt. La généralisation des doubles mains courantes en aluminium anodisé, plus glissantes que celles en acier chromé (interdit) ou inoxydable (plus cher), réduit encore les indications car elle demande encore plus de force à des patients qui en manquent.



Fig. I.12 CR hémiparalysée à double main



ig. I.13: Propulsion CR hémiparalysée à double main

Assise surbaissée (Fig. I. 14)

Le principe est de propulser le fauteuil avec la main valide et de le guider ou même de le tracter avec le pied au sol. Bien qu'imparfait, c'est une chaise simple et un bon compromis. Le point clé est de déterminer la meilleure hauteur d'assise en tenant compte du coussin, ce qui permet d'avoir un bon appui du pied au sol et il faut aussi que la personne garde, si elle l'avait, la possibilité de se relever. Le choix du fauteuil est très vaste puisque la plupart des fauteuils classiques du marché disposent d'un réglage de cette hauteur sol-siège.



Fig. I.14:Chaise roulante à propulsion pédale

I.3.1.3. Chaise roulante de confort (Fig. I.15)

Cette chaise a une assise et un dossier rigides enveloppants qui améliorent le maintien du patient et facilitent la bonne fixation d'accessoires tels les maintiens thoraciques (cale-tronc) ou l'appui-tête. On peut en différencier deux types :

- ceux qui ont un système d'inclinaison d'assise (ensemble dossier-siège-repose-jambes) (Fig. I.15) très important pour le confort, mais qui ne sont pas pliants (ils se démontent plus ou moins commodément) ;

- ceux qui peuvent se plier mais n'ont pas d'assise inclinable, d'où un confort moindre.

De plus en plus, leurs systèmes d'inclinaison cherchent à respecter la physiologie articulaire (axe de rotation en regard des articulations, dossier, repose-jambes [10])



Fig. I.15: Chaise roulante de confort

I.3.1.4. Chaises en acier traditionnelles (Fig. I. 16)

Ces Chaises sont en acier, donc assez lourdes (20 kg en moyenne), pliantes et de conception traditionnelle; elles n'ont plus beaucoup d'intérêt depuis que les chaises classiques en aluminium, plus légères, bénéficient d'un remboursement intégral par la Sécurité sociale. Néanmoins, certains patients âgés les préfèrent aux modèles récents, ainsi que certaines collectivités qui trouvent leur maintenance plus simple (soudure) et leur résistance supérieure.



Fig. I.16: Chaise roulante de confort

I.3.1.5. Chaises roulantes multisports

Le sport en fauteuil a beaucoup évolué. Le développement de la compétition et des sports de nature a entraîné la mise au point de fauteuils de plus en plus spécifiques, utilisables dans la pratique du seul sport pour lequel ils ont été conçus (athlétisme, tout terrain). Néanmoins, il subsiste de nombreux modèles polyvalents, les multisports (**Fig.I. 17**), bien adaptés au sport loisir (tennis par exemple) et fréquemment utilisés dans la vie de tous les jours, généralement par des personnes paraplégiques, voire tétraplégiques basses. Ces modèles multisports se caractérisent principalement par leur châssis rigide (mais leur dossier généralement rabattable permet leur chargement en voiture une fois



Fig. I.17: Chaise roulante multisports

les roues arrière (démontées).

Ce châssis non pliant les allège tout en leur donnant une structure plus robuste renforçant la réactivité du FR au démarrage (pas de jeu dans les articulations du système de pliage). Leur roues arrière sont généralement carrossées, ce qui améliore la mobilité giratoire mais augmente la largeur totale.

Certains points font qu'ils ne conviennent pas à tous : repose-pieds non démontables, absence fréquente d'accessoires tels les accoudoirs, roues avant de faible diamètre, relative instabilité (centre de gravité avancé pour optimiser le roulement) et mode de chargement en voiture particulier. Ces réserves étant faites, ils présentent néanmoins de sérieux avantages : faible poids, solidité, excellent roulement et confort du dossier (réglable en hauteur et inclinaison pour une meilleure adaptation).

I.3.1.6. Chaises roulantes pour enfants

Ces fauteuils reprennent les catégories énumérées ci-dessus dans des tailles adaptées aux enfants. Le choix est rarement parfait dans la mesure où il faut anticiper sur la croissance qui varie en fonction des enfants. Il faut prévoir une assise plus profonde que nécessaire, car les enfants grandissent généralement plus vite qu'ils ne grossissent ; elle est compensée dans un premier temps par un coussin de dossier. Au plan largeur, il est important de prendre en compte le port d'éventuels appareils crurojambiers, car ils augmentent beaucoup la largeur du bassin. Il existe aussi quelques fauteuils évolutifs sur lesquels il est possible d'agrandir le châssis en largeur et longueur. Leurs inconvénients en limitent la diffusion : quand l'enfant grandit, il prend du poids et s'active plus ; on augmente la taille du fauteuil, ce qui le fragilise alors qu'il

faudrait qu'il soit au contraire plus résistant. Par ailleurs, ces modèles sont un peu plus lourds du fait de leurs réglages. En pratique, ils restent rares et sont plutôt adaptés aux petits. Quelques-uns munis du seul réglage de la profondeur apportent néanmoins une solution de compromis. L'idéal serait de pouvoir changer de matériel chaque année (existence d'un parc de fauteuils mis à disposition par la Sécurité sociale) de façon à proposer un matériel ajusté au mieux à la morphologie des enfants.

En ce qui concerne les enfants installés dans un corset-siège, le fauteuil est rarement bien adapté, notamment lorsque la coquille impose une position en abduction des hanches. Les repose-pied dits « indexés » (décalés vers l'extérieur) apportent une réponse parfois satisfaisante, mais la faible profondeur du siège reste un problème difficile à résoudre chez les petits. Les châssis roulants porte-coquille (cf. infra) apportent une solution efficace, intéressante en centre, mais peu appréciée des parents car inesthétique.

I.3.2. Chaises roulantes électriques(CRE)

I.3.2.1. Description générale d'une chaise roulante électrique

Indépendamment des assistances électriques, on peut distinguer trois grands types de chaises électriques :

- les CRE à châssis fixes ;
- les CRE à châssis pliants ;
- les motorisations électriques pour fauteuils manuels ;

Au plan normatif, les FRE sont aussi classés en trois catégories : A, intérieur ; C, extérieur ; B: utilisation mixte (la plus fréquente). Mais ce classement est peu utilisé où l'utilisation mixte (en intérieur et en extérieur) reste très majoritaire.

La présente chaise roulante est exclusivement prévue pour le déplacement autonome ou accompagné des personnes souffrant d'un handicap partiel ou total des membres inférieurs. Il est possible d'utiliser le fauteuil roulant aussi bien en milieu intérieur qu'en milieu extérieur, sur un sol stable. Le schéma correspondant montre les composants de base d'un fauteuil roulant électrique de modèle (Ottobock b400) le plus utilisé en Algérie [13]



Fig I.18 : Description d'une chaise roulante de type Ottobock b400

- 1 ⇒ Repose tête
- 2 ⇒ Support de module pour système électronique
- 3 ⇒ Protège-vêtements avec accoudoir
- 4 ⇒ Dispositif de réglage de l'inclinaison du dossier
- 5 ⇒ Feux arrière
- 6 ⇒ Garde-boue de la roue motrice
- 7 ⇒ Roue motrice
- 8 ⇒ Anti-bascule
- 9 ⇒ Roue directrice de commande
- 10 ⇒ Garde-boue de la roue directrice
- 11 ⇒ Moteur avec déverrouillage des freins (réglage électrique)
- 12 ⇒ Suspension
- 13 ⇒ Feu avant
- 14 ⇒ Repose-jambe
- 15 ⇒ Coussin d'assise
- 16 ⇒ Boîtier de commande

À l'exception des scooters et des motorisations pour tierce personne, la plupart sont conduits au moyen d'un *joystick* (ou manipulateur), mais ils peuvent recevoir des interfaces de commande en fonction de la déficience (cf. infra).

Quel qu'en soit le type, ils nécessitent tous une assurance « dommages aux tiers » dès que le patient circule dans des lieux publics.

Tous sont programmables, en général avec un boîtier informatique (vendu en option) permettant de régler la vitesse, l'accélération et la décélération pour une meilleure adaptation à la personne ; de plus en plus souvent, un logiciel informatique permet une programmation plus sophistiquée : inversion des directions, changement de la zone neutre, diagnostic des pannes.

Les moteurs électriques ont une puissance comprise entre 100 et 500 watts et, sauf exception, fonctionnent sous une tension de 24 volts. L'alimentation est faite par deux batteries de 12 V (montées en série). Ces batteries sont lourdes (de 10 à 20 kg l'unité, six sur certaines motorisations) et doivent être rechargées régulièrement (tous les soirs en usage intensif, une dizaine d'heures au minimum) avec un chargeur branché sur le secteur (vendu avec tout FRE).

I.3.2.2 Les différents types de Chaises roulantes électriques

Il existe différents types de CRE qui sont présentés comme suit :

I.3.2.2. Chaises roulantes pliantes ou démontables

Ces modèles (Fig. 19, 20) s'inspirent des FRM sur lesquels sont fixés moteurs et batteries. Ils offrent deux gros avantages par rapport aux FRE à châssis fixe (cf. infra) : un faible encombrement qui facilite la maniabilité en intérieur, et la possibilité (parfois théorique) d'être pliés ou démontés pour le transport (par une personne valide en bonne forme physique). En pratique, très peu sont réellement faciles à démonter et l'on constate que beaucoup de ceux qui pensaient les démonter le font assez peu. Leur conception fait qu'ils ne sont pas adaptés à un usage intensif ; ils manquent d'autonomie (de 10 à 25 km au maximum) et de robustesse, alors que leur confort reste limité, identique à celui obtenu sur un FRM pliant. La différence avec les motorisations électriques pour FRM (cf. infra), est parfois minime.



Fig.19: CRE à châssis pliant



Fig.20: CRE à châssis pliant démonté

I.3.2. 3. Chaises Roulantes Electriques à châssis fixe:

À la différence des CRE à châssis pliant, ces modèles (**Fig. 21**) sont conçus d'emblée comme de véritables fauteuils électriques. Il sont donc théoriquement plus robustes et puissants que les précédents, et disposent d'une meilleure autonomie (de 20 à 40 km en moyenne). Jusqu'à l'apparition récente de modèles intégralement remboursés, ils étaient aussi beaucoup plus chers que les châssis pliants. Ces CRE peuvent aussi, pour la plupart, être équipées de fonctions de confort, importantes pour les personnes qui ne peuvent quitter leur fauteuil : inclinaisons électriques par télécommande de l'assise, du dossier et des repose-jambes.



Fig.21: Chaise roulante électrique à châssis fixe

En contrepartie, ils sont lourds (environ 100 kg), plus encombrants que les FRE pliants et ne sont guère transportables autrement que dans un véhicule aménagé.

Certains peuvent recevoir un élévateur électrique optionnel, le *lift* : l'assise (ensemble dossier-siège-repose-pieds) s'élève, ce qui permet de se mettre à hauteur de l'environnement ; couplé à une inclinaison de l'assise vers l'avant, le *lift* peut aussi permettre à certains patients capables de marcher mais pas de s'extraire du fauteuil une remise debout pour faire quelques pas (myopathie des ceintures ou dystrophie de Steinert). La plupart des modèles ainsi équipés ont une hauteur d'assise surélevée (même en position basse), ce qui peut poser des problèmes d'accès dans les véhicules aménagés. Attention aussi à ne pas les confondre avec les chaises verticalisatrices, dont l'objectif est de replacer les personnes en position verticale sur les repose-pieds (donc peu adaptés à ceux qui veulent quitter la chaise).

La position de leurs roues motrices est un critère à prendre en compte en fonction des objectifs recherchés :

- roues motrices arrière : FRE les plus courants et les plus faciles à conduire ;
- roues motrices centralisées : FRE récents très réactifs et mobiles, mais posant problème pour les passages d'obstacles et les chargements en voiture avec double rampe ;
- roues motrices avant (traction) : FRE très maniables en intérieur tout en restant performants en extérieur, mais nécessitant une bonne maîtrise de la conduite ou une assistance de type gyroscope ;
- certains modèles ont aussi quatre roues motrices.

- assise personnalisée 1 (AP1) : dossier inclinable, repose-pieds simples et absence d'appui-tête .
- assise personnalisée 2 (AP2) : assise et dossier inclinables, repose-pieds remplacés par des repose-jambes inclinables et présence d'un appui-tête.

Par ailleurs, on a vu arriver ces dernières années des CRE à châssis fixes. De qualité généralement correcte, ils conviennent assez bien à une utilisation mixte intérieur-extérieur. En configuration AP2, l'assise et le dossier sont souvent inclinables électriquement de série, ce qui améliore beaucoup le confort puisque le patient peut le faire seul sans faire appel à un tiers. De plus, ces modèles « sécu » ont souvent des dimensions intermédiaires entre les châssis fixes classiques et les châssis pliants, ce qui est commode pour les personnes recherchant un modèle confortable mais pas trop encombrant pour pouvoir être utilisé à domicile.

I.3.2.4. Motorisations électriques:

D'apparition récente, ces matériels font la transition entre les CRM (puisque la propulsion se fait toujours avec les mains courantes) et les CRE (puisque ces mains courantes voient leur effet multiplié par un moteur électrique alimenté par batterie).

Le mouvement des mains du patient sur les mains courantes du FR agit sur des *sensors* qui déclenchent l'assistance électrique de moteurs placés dans les moyeux de roues (**Fig. 22, 23**).

Plusieurs évaluations ont été faites sur le modèle Servomatic [11-15], presque toujours par la même équipe américaine a réalisé une évaluation biomécanique de l'effet du système sur le mouvement des membres supérieurs, sur la stabilité du FR et ses performances. Elle a enfin étudié l'appréciation des patients lors d'un parcours simulant des activités de la vie quotidienne. Ces études montrent que ce système permet de diminuer la demande énergétique au cours du déplacement, la fréquence des poussées manuelles, l'amplitude des déplacements articulaires du membre supérieur lors des poussées. De même, les patients disent pouvoir faire les manœuvres d'un parcours d'obstacles plus facilement avec le système, bien que le temps nécessaire pour effectuer ce parcours soit identique. En revanche, le transfert en voiture est plus difficile qu'avec la CR manuelle traditionnelle. L'assistance apportée devrait à terme contribuer à réduire les douleurs des membres supérieurs. En dehors du fait qu'ils élargissent un peu la CR et qu'ils nécessitent une certaine adresse, leur principal inconvénient reste la difficulté de chargement en voiture compte tenu de leur poids (6,6 kg la roue arrière pour la version la plus légère, mais 10 kg par roue pour la version la plus vendue).

On peut en distinguer deux types :

- celles destinées au patient et qui transforment la chaise manuelle en chaise électrique conduit avec un *joystick* (Fig. 22, 23)
- celles destinées à la tierce personne et que celle-ci contrôle, debout derrière la chaise et sans faire d'effort .



Fig.22: CR manuelle avec assistance électrique chassis



Fig.23: Roue arrière avec motorisation d'assistance électrique

Ces motorisations s'adaptent sur la plupart des FR manuels. Elles ont pour avantage un poids inférieur à celui des petits FRE, ce qui facilite leur démontage, mais leurs performances au plan autonomie, puissance et franchissement d'obstacles leur sont la plupart du temps inférieures. Quelques modèles de la première catégorie (destinées au patient) sont partiellement pris en charge par la Sécurité sociale en tant que « Dispositifs de propulsion par moteur électrique pour FRM », mais pour un nombre limité.

I.4. Conclusion

Dans ce premier chapitre tout d'abord nous avons présenté des généralités sur la chaise roulante en commençant par un bref historique des chaises roulantes en détaillant les catégories des chaises roulantes et leurs différentes caractéristiques et leurs critères de choix. Par la suite, nous allons discuter des types de moteurs qui peuvent être utilisés comme actionneur au fauteuil roulant et les moyens de pilotage.

Nous allons donc étudier et commander, dans le chapitre suivant, le moteur utilisé dans la chaise afin d'obtenir une motorisation suffisante de notre système globale.

Chapitre II :

Moteur de la chaise et sa commande

II.1. Introduction :

Le moteur pour chaise roulante électrique est un dispositif principal qui permet à la chaise de se déplacer sans effort physique de la part de l'utilisateur. Contrairement aux chaises roulantes manuelles, les CRE sont équipés de moteurs qui transforment l'énergie électrique en mouvement mécanique. Ces moteurs sont généralement alimentés par des batteries rechargeables, ce qui offre une grande autonomie et une liberté de mouvement accrue. Le moteur est l'élément central du système de propulsion. Il est généralement installé sur les roues arrière du fauteuil, tandis que certains modèles utilisent des moteurs centraux ou des systèmes de propulsion sans roue. Ces moteurs sont conçus pour être robustes, silencieux et économes en énergie. Ils doivent être capables de supporter des charges importantes tout en offrant une vitesse et une puissance adaptées aux besoins de l'utilisateur.

II.2. Principe de fonctionnement de la chaise roulante

Le choix d'une chaise roulante électrique est souvent celui du médecin car il dépend du type du handicap. Cet appareil est destiné à faciliter le quotidien et l'autonomie des personnes présentant un handicap sévère et ayant des difficultés ou une impossibilité à se déplacer à l'aide d'un fauteuil roulant manuel [24].

La chaise roulante comporte deux roues fixes non orientables commandées indépendamment comme le montre sur la Figure III.1.

Dans cette partie on en donne une représentation générale d'un point de vue matériel puis on propose une modélisation mathématique de l'actionneur d'un point de vue cinématique. Ce travail de modélisation sera aisément adaptable à la chaise à deux roues motrices (Comme ça peut être à un seul moteur principal au milieu de l'axe des roues) .

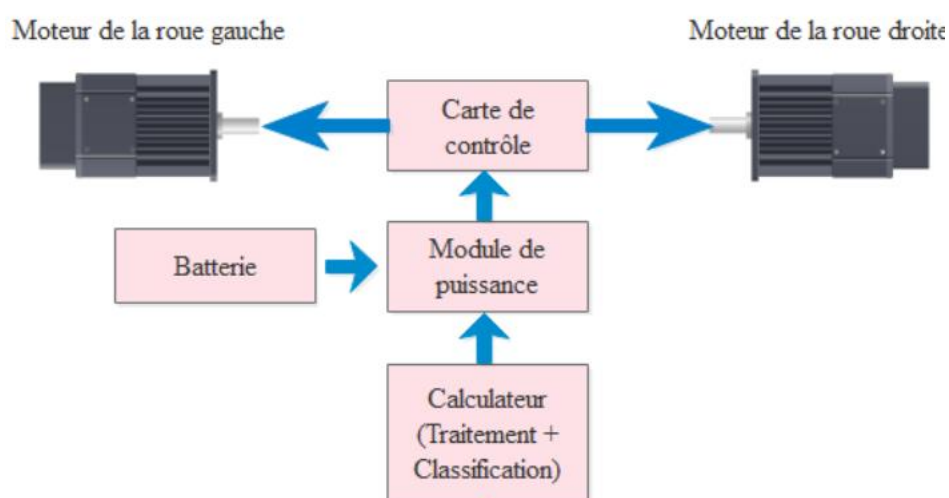


Fig II. 1: Diagramme fonctionnel des composants électriques de la CRE.

II.3. Types des moteurs utilisés pour la CRE

Pour choisir le moteur électrique dans n'importe quel domaine de travail ou tâche de fonctionnement, il faut prendre en considération ses avantages et ses inconvénients dont nous nous allons présenter quelques-uns.

II.3.1. Moteur à courant continu (MCC)

Le moteur à courant continu est un convertisseur d'énergie: de l'énergie électrique en énergie mécanique, C'est donc un convertisseur électromécanique. 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 redresseur commandé ou hacheur. 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. [10].

II.3.2. Moteur brushless

Le moteur « brushless » est un moteur à CC 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. Les moteurs sans balais (brushless) contiennent beaucoup des inconvénients comme le risque de mauvais démarrage ou de décrochages, coût élevé, plus petites séries et peu de séries économiques. Les chercheurs de projet (Dakhli et al) donnent une amélioration des chaises roulantes actuelles par l'utilisation des moteurs DC brushless au lieu de moteurs DC avec réducteurs conventionnel,

II.3.3. 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. Ce dernier type d'aimants constitue un espoir important dans le domaine des moteurs électriques. Quant aux ferrites, dont le prix est acceptable en production de grande série, ils confèrent des performances relativement modestes aux MSAP mais ne sont pas à exclure. Les MSAP sont souvent retenus pour l'entraînement de véhicules électriques de même les fauteuils roulants électriques par exemple dans les projets Dinale et al., et Heo Y et al. Les moteurs synchrones à aimant permanent sont souvent

II.4. Choix du moteur pour la CRE

Un moteur électrique de fauteuil roulant est généralement un **moteur à courant continu (MCC)** alimenté en **24 V**, conçu pour fournir un **couple élevé à basse vitesse** afin de déplacer le fauteuil et supporter le poids de l'utilisateur.

Le plus courant est un moteur à CC à balais (ou sans balais DC brushless motor) de:

- Tension : souvent **24 V**
- Puissance : entre **150 W et 350 W** par moteur
- Deux moteurs sont souvent utilisés : un pour chaque roue motrice.

Le système comprend :

1. **Le moteur électrique:** C'est bien l'actionneur du système
2. **Le réducteur (boîte d'engrenages):** Réduit la vitesse et augmente le couple.
3. **Le frein électromagnétique:** Bloque automatiquement le fauteuil quand l'alimentation est coupée.
4. **Le contrôleur électronique:** Gère la vitesse et la direction de la chaise.
5. **Le joystick de commande :** Avec manette de commande manipuler par le conducteur

Le moteur de la CRE est souvent caractérisé par sa tension (en volts, sa puissance (en watts) et son couple (en newton-mètres. Par exemple, un moteur de 24 V, 250 W ou 350 W est couramment utilisé pour des fauteuils roulants légers à moyens. Ces chiffres indiquent la performance du moteur et sa capacité à fournir de la puissance sur différentes surfaces.

Les fauteuils roulants électriques(FRE) utilisent principalement des moteurs à courant continu (CC) de 12V ou 24V, soit à balais (fiabiles et économiques), soit sans balais (plus performants), associés à des réducteurs de vitesse pour augmenter le couple. Ces motoréducteurs, souvent de 200W à 350W, garantissent l'autonomie et la puissance nécessaires, notamment sur des modèles à deux moteurs

II.5 Moteur à Courant Continu (Moteur DC)

II.5.1. Rôle et Principe Générale

Le moteur à courant continu (DC) est l'actionneur électromécanique principal du fauteuil roulant. Sa fonction fondamentale est de convertir l'Energie électrique fournie par la batterie en Energie mécanique de rotation qui entraîne les roues motrices. Ce processus s'effectue par l'interaction des flux magnétiques générés par le passage du courant électrique dans une ou plusieurs bobines. [14]

Ce type de moteur constitue un système asservi capable de répondre à des exigences de mouvement de haute précision, ce qui est essentiel pour la sécurité et le confort d'utilisateur . de la chaise[15].

Son principe de fonctionnement est basé sur la force de la LAPLACE : En parcourant un conducteur fermé placé dans un champ magnétique par un courant continu, ce conducteur est soumis à une force électromagnétique.

II.5.2 Expression de la f.é.m

L'induit étant en rotation, les conducteurs coupent le flux magnétique inducteur et sont le siège d'une force électromotrice induite:

$$e_s = -\frac{d\phi}{dt} = \phi\Omega \sin(\Omega t) \quad (\text{II.1})$$

dont la valeur moyenne: $\bar{e} = \frac{2}{\pi} \phi \Omega = k \phi \Omega$ (II.2)

Pour N spires et une machine a 2P pôles et 2a voies d'enroulement

$$E = \frac{P}{a} N n \phi$$
 (II.3)

Cette expression est la relation la plus générale applicable dans la MCC

E: [Volt] ; n: [tr/s]; ϕ [Wb], N : nombre de conducteurs actifs de l'induit;

P: Nombre paire de pôles, a: Nombre paire de voies

II.5.3 Moment du couple électromagnétique:

La puissance électromagnétique est convertie en puissance mécanique:

$$P_{em} = EI = T_{em} \cdot \Omega. \quad (II.4)$$

$$D'où : T_{em} = EI / \Omega = K \Phi I \quad (II.5)$$

T_{em} : moment du couple électromagnétique (Nm) ;

Φ : flux sous un pôle de l'inducteur (Wb) ;

I : courant dans l'induit (A).

II.5.4. Différentes types d'excitations de la MCC :

Il existe plusieurs modes pour alimenter l'inducteur de la machine, chacune d'entre elles conduisant à des caractéristiques de fonctionnement différentes. Nous allons nous placer dans le cas où la machine en fonctionnement moteur.

- Machine à excitation séparée(ou indépendante).
 - Machine à excitation parallèle (shunt).
 - Machine à excitation série.
 - Machine à excitation composée (on a deux excitation en même temps « série et shunt »).
- Il y a plusieurs types : flux additif, soustractif, long dérivation courte dérivation).

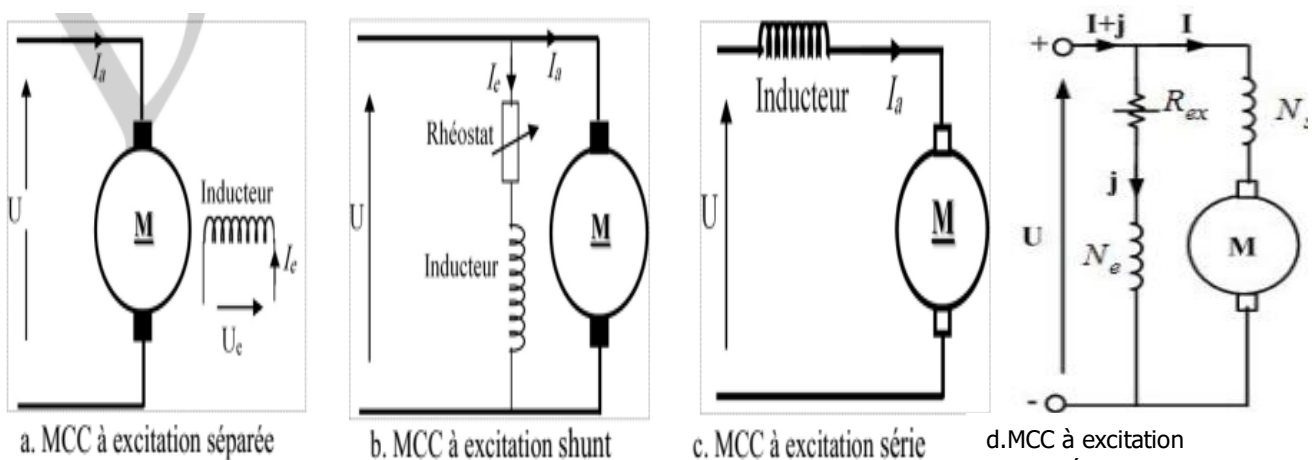


Figure: II.2: Types d'excitations des Moteurs à courant continu

II.5.5. Réglage de la vitesse du moteur MCC

II.5.5.1. Eléments de réglage

Il est nécessaire de régler la vitesse de la MCC pour optimiser le fonctionnement ou pour répondre aux besoins de travail et la nature de charge.

La relation de la vitesse d'un moteur à courant continu (à excitation shunt ou séparée) est donnée par :

$$U_a = E + R_a \cdot I_a \quad (\text{II.7})$$

avec $E = K \cdot \Omega \cdot \Phi$

$$U_a = K \cdot \Omega \cdot \Phi + R_a \cdot I_a \Rightarrow \Omega = \frac{U_a - R_a \cdot I_a}{K \Phi} \quad (\text{II.8})$$

En explorant cette relation, il apparaît clairement trois possibilités pour le réglage de la vitesse

- Action sur R (réglage rhéostatique).
- Action sur Φ (réglage par le flux).
- Action sur U (réglage par la tension).

La meilleure solution est l'action sur la tension d'alimentation de l'induit à excitation constante, la vitesse peut être variée d'une valeur nulle à la valeur nominale en variant la tension d'induit de zéro à la valeur nominale. Dans notre commande, on va baser sur cette approche en passant par la modélisation qui est indispensable dans la boucle de la commande

II.5.5.2. Modélisation de la MCC

L'équation électrique, liant la tension $u_a(t)$ aux bornes de l'induit (rotor) et le courant d'induit $i_a(t)$ s'écrit :

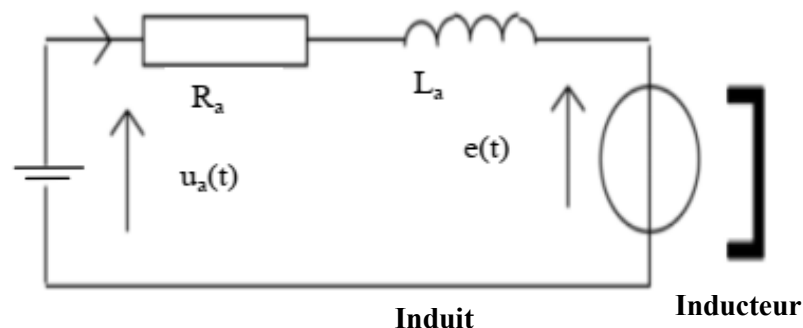


Fig II.3 Schéma équivalent d'un moteur à courant

$$u_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \cdot \frac{di_a(t)}{dt} + e(t) \quad (\text{II.9})$$

D'ou

$$u_a(t) - e(t) = R_a * i_a(t) + L_a * \frac{di_a(t)}{dt} \quad (\text{II.10})$$

Equation de conversion électromécanique

$$u_i(t) = K_E * \omega(t) = e(t) \quad (\text{II.11})$$

Avec excitation constante

$$\text{et } T_{em}(t) = K_T * i_a(t) \quad (\text{II.12})$$

Si on applique la transformée de LAPLACE, on aura:

$$U_a(s) - E(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a s \cdot I_a(s) \quad (\text{II.13})$$

Donc

$$I_a(s) = \frac{U_a(s) - E(s)}{R_a + L_a s} = \frac{1/R_a}{1 + (L_a/R_a) \cdot s} [U_a(s) - E(s)] \quad (\text{II.14})$$

L'équation mécanique rendant compte des couples agissant sur le rotor s'écrit :

$$J \cdot \frac{d\Omega(t)}{dt} + f\Omega = C_{em} - C_r \quad (\text{II.15})$$

Où $C_{em}(t)$ est le couple moteur, $C_r(t)$ est le couple résistant (charge et perturbations), f est le coefficient de frottement visqueux et J_{tot} le moment d'inertie du rotor total.

Par construction, le couple $C_{em}(t)$ est proportionnel au courant d'induit $i_a(t)$:

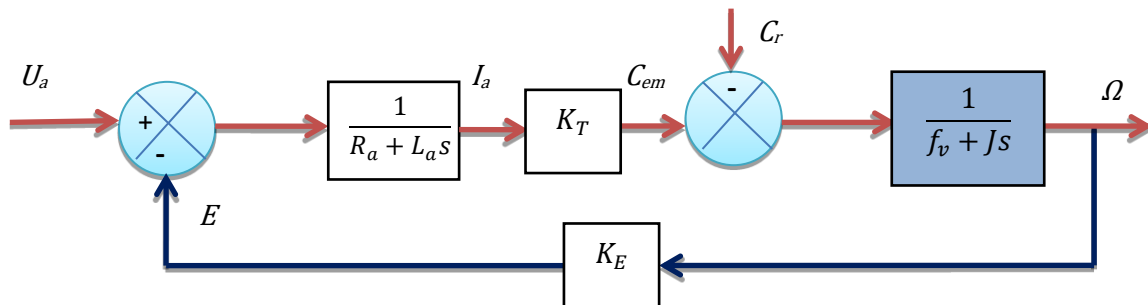


Figure II.4. Schéma fonctionnel du modèle MCC

$\frac{L_a}{R_a} = T_e$: est la constante de temps électrique du moteur
 $\frac{J}{f} = T_m$: est la constante de temps mécanique.

II.5.5.3. Fonction de transfert de la MCC

La fonction de transfert en appliquant les règles du schémas fonctionnels de régulation

$$G_1(s) = \frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{\frac{1/R_a}{1+s.L_a/R_a} \cdot K_T \cdot \frac{1}{s.J}}{1 + \frac{1/R_a}{1+s.L_a/R_a} \cdot K_T \cdot \frac{1}{s.J} \cdot K_E} \quad (\text{II.16})$$

en groupant les termes constants, et en multipliant numérateur et dénominateur par:

$\left(1 + s \cdot \frac{L_a}{R_a}\right) \cdot R_a \cdot s \cdot J$ on obtient

$$G_1(s) = \frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{K_T}{(1 + s.L_a/R_a) \cdot R_a \cdot s \cdot J + K_T \cdot K_E} \quad (\text{II.17})$$

Calcul de la fonction de transfert en mettant le dénominateur sous forme polynomiale

$$G_1(s) = \frac{K_T}{K_T \cdot K_E + s \cdot R_a \cdot J + s^2 \cdot \frac{L_a}{R_a} \cdot J \cdot R_a} \quad (\text{II.18})$$

finalemt, en normalisant le dénominateur

$$G_1(s) = \frac{1}{K_E} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot \frac{R_a \cdot J}{K_T K_E} + s^2 \cdot \frac{L_a}{R_a} \cdot \frac{J \cdot R_a}{K_E K_E}} \quad (\text{II.19})$$

Calcul de la fonction de transfert

Si on introduit:

la constante de temps électrique: $\tau_e = \frac{L_a}{R_a}$

et la constante de temps mécanique: $\tau_m = \frac{J \cdot R_a}{K_T K_E}$

la fonction de transfert du moteur DC et de la charge, sans frottements visqueux, deviendra ainsi

$$G_1(s) = \frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{1}{K_E} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot \tau_m + s^2 \cdot \tau_m \cdot \tau_e} \quad (\text{II.20})$$

II.5.5.4. Dimensionnement du régulateur de vitesse :

La fonction de transfert en boucle ouverte est donnée par :

$$F_{BO}(s) = \frac{1 + T_{i2} \cdot s}{T_{i2} \cdot s} \cdot \frac{\frac{K_{\Omega} K}{K_1}}{1 + T_{eq} \cdot s} \cdot \frac{1}{f} \quad (\text{II.21})$$

Du fait de la valeur élevée de T_m , on néglige 1 devant $T_m \cdot s$; ceci nous donne :

$$F_{BO}(s) = \frac{1+T_{n2}.s}{T_{i2}.s} \cdot \frac{\frac{K_{\Omega}K}{K_1}}{1+T_{eq}.s} \cdot \frac{1}{J.s} \quad (II.22)$$

Fonction de transfert en boucle fermée :

$$F_{BF}(s) = \frac{\frac{1+T_{n2}.s}{K_{\Omega}}}{1+T_{n2}.s + \frac{T_{n2}T_{i2}}{K_0}(1+T_{eq}.s)s^2} \quad (II.23)$$

Avec $K_0 = \frac{K_{\Omega}K}{K_1} \cdot \frac{T_{n2}}{J}$

$$F_{BF}(j\omega) = \frac{\frac{1+j\omega T_{n2}}{K_{\Omega}}}{1+j\omega T_{n2} - \frac{T_{n2}T_{i2}}{K_0}(1+j\omega T_{eq})\omega^2} \quad (II.24)$$

Après le développement du calcul de la fonction du transfert en BF on aura:

$$\begin{cases} \frac{T_{i2}}{K_0} - 2T_{eq} = 0 \Rightarrow T_{i2} = 2K_0.T_{eq} \\ T_{n2} - \frac{2T_{i2}}{K_0} = 0 \Rightarrow T_{n2} = 4T_{eq} = 8\tau_r \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_{n2} = 8\tau_r \\ T_{i2} = \frac{32K.K_{\Omega}}{J.K_1}\tau_r^2 \end{cases} \quad (II.25)$$

Pour analyse notre système corrigé on trouve

$$F_{BO}(s) = \frac{1+8\tau_r.s}{8\tau_r.s} \cdot \frac{1}{4\tau_r.s} \cdot \frac{1}{1+2\tau_r.s} \quad (II.26)$$

II.5.5.5. Schéma fonctionnel du réglage de la vitesse :

Le schéma fonctionnel de la boucle vitesse du moteur à courant continu à flux constant est représenté à la figure II.12.

Particularité : $T_m \gg T_e$, la boucle de vitesse est lente par rapport à la boucle de courant.

Pour cela on utilisera le critère symétrique.

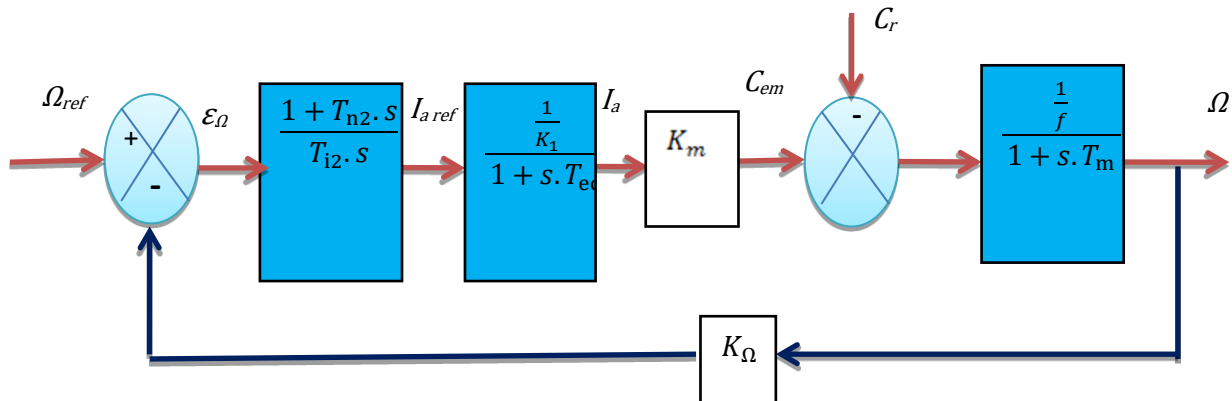


Figure II.5.Schéma fonctionnel de réglage de la vitesse d'un MCC

II.5.5.6. Résultats de simulation

Pour valider le modèle de notre moteur utilisé pour la propulsion de la chaise roulante et sa commande, on a fait une série de simulation comme suit:

a/Fonctionnement sans réglage de vitesse du moteur

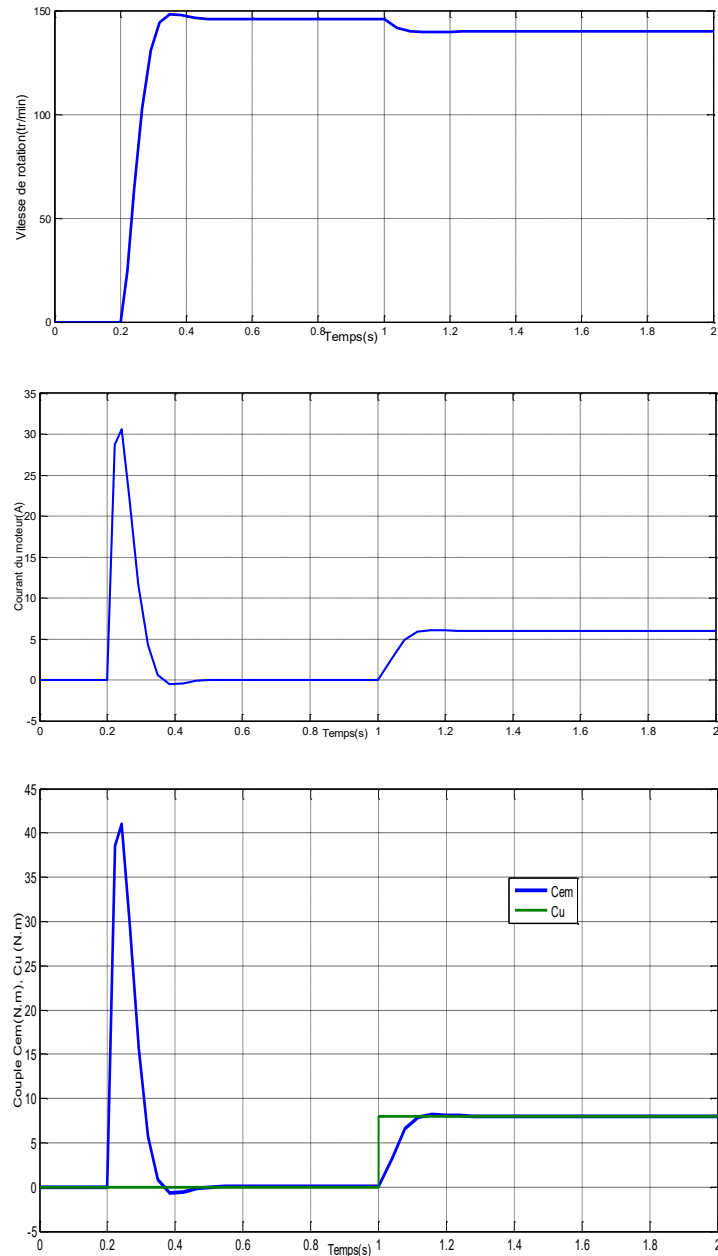


Fig. II. 6: Résultats de simulation d'un MCC sans réglage

A l'instant $t=0.2$ s on a appliqué une tension continu ce qui provoque un grand courant de démarrage et un grand couple électromagnétique puis les deux se stabilisent aux valeur minimales (courant et couple à vide), le moteur atteint rapidement à sa vitesse nominale ou un peu plus(Fig II.5) .

A l'instant $t=1s$ on a appliqué un couple résistant Cr (couple de charge de CRE) , on remarque que le courant et le couple électromagnétique sont augmentés et la vitesse diminue à cause de la charge ce qui demande du réglage

b/ Fonctionnement avec réglage de vitesse du moteur

b.1. Démarrage à vide puis application d'un couple de charge

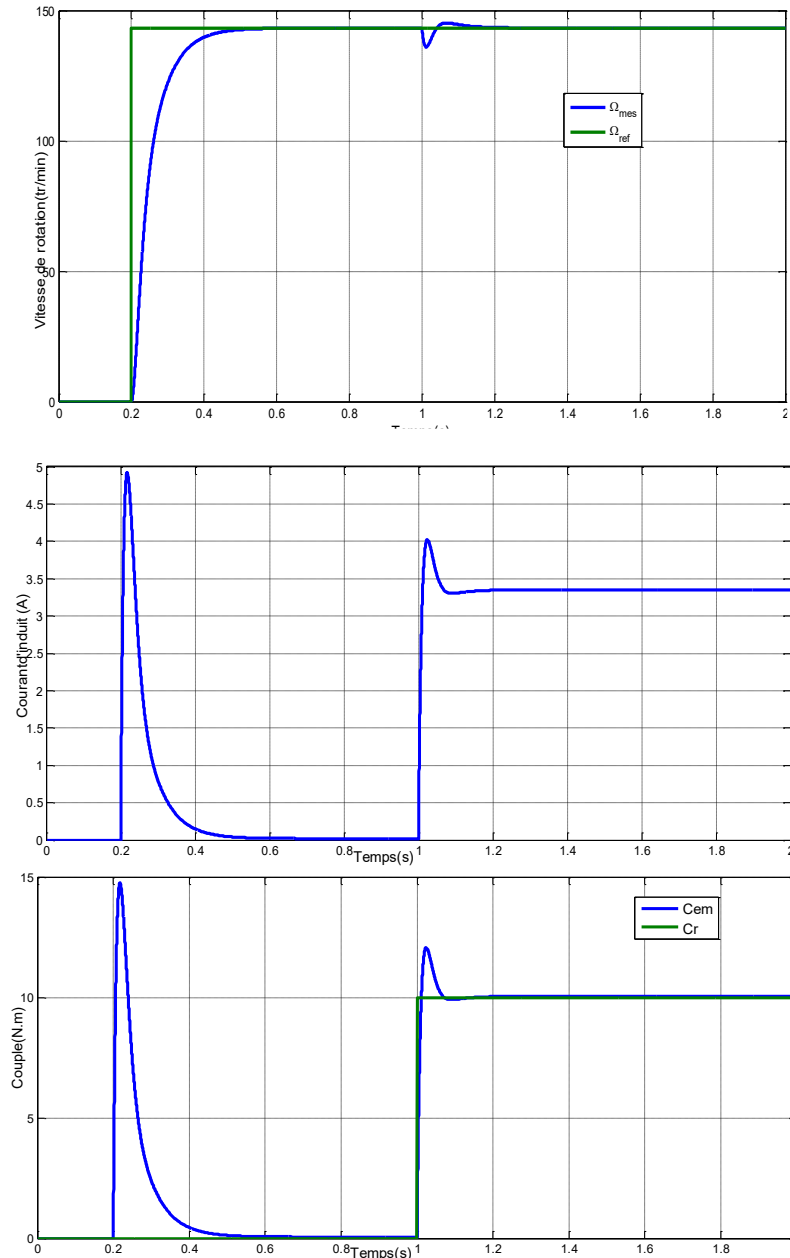


Fig. II. 7: Résultats de simulation d'un MCC avec réglage

A l'instant $t=0.2s$ on a appliqué un échelon de vitesse ce qui provoque un courant plus de démarrage et un couple électromagnétique considérable puis les deux se stabilisent aux valeurs minimales (courant et couple à vide), le moteur atteint rapidement la vitesse de consigne

A l'instant $t=1s$ on a appliqué un couple résistant Cr (couple de charge de CRE) , on remarque que le courant et le couple électromagnétique sont augmentés et la vitesse diminue un peu puis elle est confondue avec la consigne (la vitesse désirée), ce qui vérifie que le réglage est excellent.

c/ Test de robustesse par inversion du sens de rotation

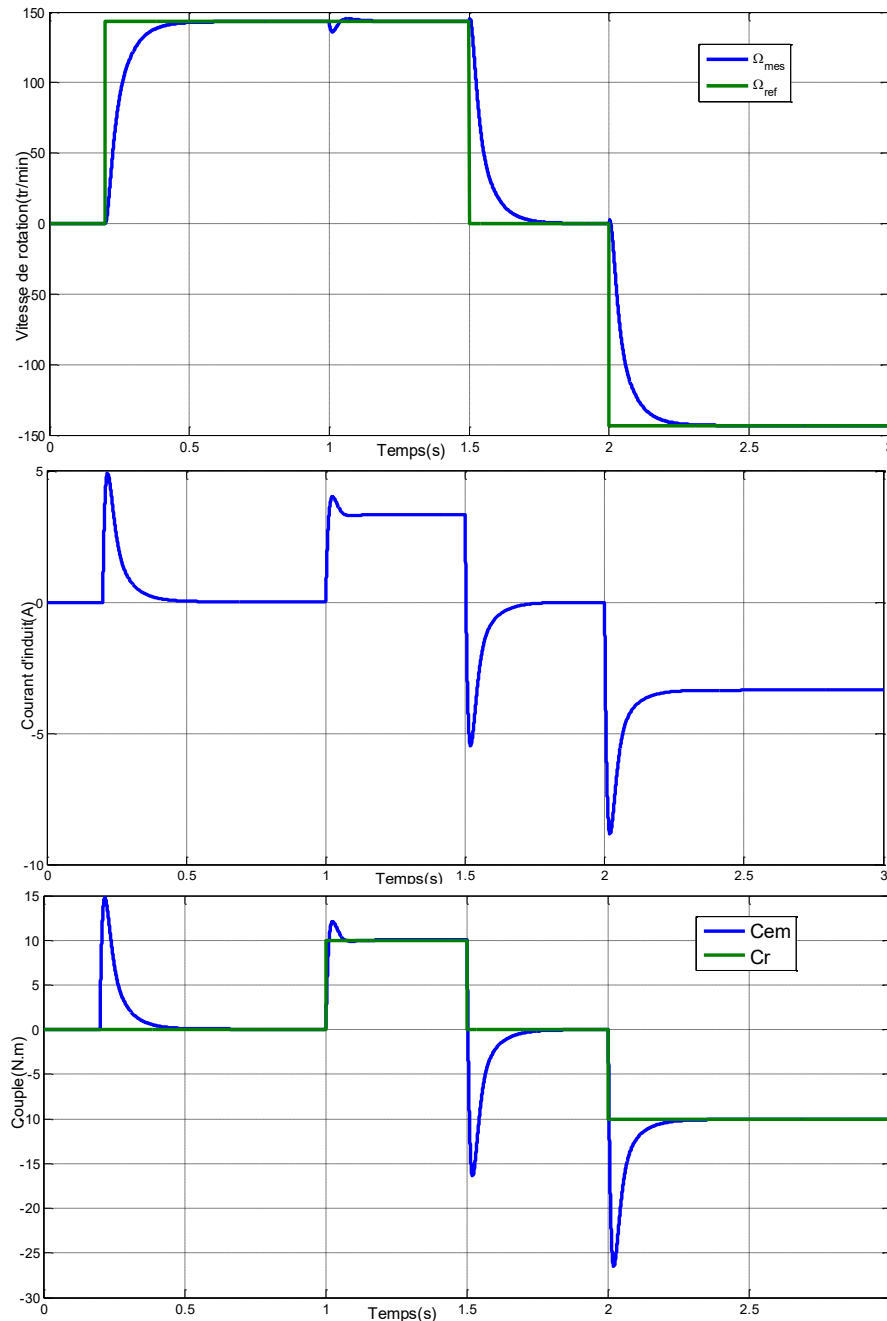


Fig. II. 8: Test de robustesse de la commande d'un MCC

On veut tester la robustesse de cette commande par inversion du sens de rotation et du couple de charge , à l'instant $t=0.2s$ on a appliqué un échelon de vitesse au sens direct ce qui provoque

un courant plus de démarrage et un couple électromagnétique considérable puis les deux se stabilisent aux valeurs minimales (courant et couple à vide), le moteur atteint rapidement à la vitesse de consigne.

A l'instant $t=1s$ on a appliqué un couple résistant C_r (charge de la CRE) comme le cas précédent et la vitesse est confondue avec sa consigne (la vitesse désirée),

A l'instant $t=1.5s$ on a annulé l'échelon de la vitesse pour arrêter la chaise puis à $t=2s$ on a inverse l'échelon de la consigne de vitesse et du couple résistant pour inverser le sens de rotation on remarque la vitesse suit bien sa référence ce qui vérifie que ce réglage est excellent.

Paramètres principaux d'une chaise roulante électrique:

Hauteur totale	88 cm
Largeur totale	55 cm
Hauteur du siège	48 cm
Largeur du siège	37 cm
Profondeur du siège	40 cm
Hauteur du dossier	40 cm
Poids net avec batteries	63 kg
Poids max autorisé	100 kg
Ø roulettes avant	20 cm
Ø roues arrière	30 cm
Capacité d'inclinaison	12°
Vitesse Max	6 Km/h
Distance d'arrêt	1 m
Puissance moteur	2x200W 24V
Bruit moteur	65 dBA
Batterie	2x12V ou 24V 28 Ah
Autonomie de batterie	20 Km
Alimentation de charge	220 /24 V~ 3.5A



Tableaux II.1 Paramètres principaux d'une CRE

II.6. Conclusion :

Dans le deuxième chapitre tout d'abord nous avons présenté le principe de la motorisation de la chaise roulante, les types des moteurs utilisés pour la CRE et les caractéristiques du moteur utilisé, ensuite nous avons choisi le moteur à courant continu MCC avec balais pour effectuer sa commande et l'exploiter dans la propulsion de notre chaise roulante.

En conclusion,. Il est essentiel de souligner l'importance de la commande du moteurs utilisé dans la chaise et la nécessité de la source d'énergie électrique pour recharger la batterie. Cependant, il est également important de continuer à suivre les avancées technologiques et la meilleure solution pour présenter continuellement les performances et améliorer l'autonomie d'une personne à mobilité réduite par l'autonomie de la charge de sa batterie .

Chapitre III:

Charge de la batterie par un système (PV)

III.1. Introduction :

L'autonomie de mouvement des personnes à mobilité réduite est très intéressante pour l'intégration sociale et de la dignité de ces personnes. Historiquement, les aides à la locomotion ont évolué de simples dispositifs manuels vers des systèmes motorisés complexes. Cependant, les chaises roulantes électriques (FRE) classiques se heurtent souvent à une contrainte majeure : la dépendance énergétique vis-à-vis des batteries et la nécessité de recharges fréquentes sur le réseau électrique, ce qui limite considérablement le périmètre d'action de l'utilisateur.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) émerge comme l'un des secteurs les plus prometteurs, ayant des implications notables sur l'économie, l'emploi et l'environnement

Une cellule photovoltaïque (PV) est un dispositif photoélectrique conçu pour convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique. Sa structure de base repose sur une jonction PN, qui peut être une homo-jonction (composée d'un seul matériau semi-conducteur) ou une hétérojonction (composée de deux matériaux différents).

Dans une cellule à homo-jonction PN, la région de type N est recouverte d'une grille métallique, faisant office de cathode ; l'autre face du cristal est recouverte d'une couche métallique continue, faisant office d'anode. Sous l'effet de la lumière incidente, les photons traversent les interstices de la grille et pénètrent dans le réseau cristallin, induisant ainsi une force électromotrice (tension) entre les deux électrodes. [16]

III.2. Bref historique de l'énergie photovoltaïque

L'histoire de l'énergie photovoltaïque débute en 1839 lorsque le physicien français Edmond Becquerel met en évidence, pour la première fois, la capacité de certains matériaux à générer un courant électrique sous l'influence de la lumière. Bien qu'Albert Einstein en ait théorisé les mécanismes fondamentaux en 1905, cette découverte est demeurée une curiosité de laboratoire jusqu'aux années 1950. Parallèlement, dès les années 1870, Heinrich Hertz a étudié cet effet dans des solides comme le sélénium, dont le faible rendement (environ 1 %) a limité l'usage initial aux luxmètres photographiques. Un tournant majeur s'opère dans les années 1950 grâce aux équipes des Laboratoires Bell qui, en s'appuyant sur le procédé de tirage (Czochralski) et les avancées de l'industrie des semi-conducteurs, conçoivent la première cellule au silicium cristallin affichant un rendement de 4 %. Par la suite, la dimension des cellules a évolué de concert avec celle des wafers de l'industrie des circuits intégrés, passant de 5,08 cm au début des années 70 à 10,16 cm au début des années 80. Cette progression s'est finalement affranchie des standards circulaires grâce à l'émergence des lingots multi cristallins parallélipédiques, permettant la production de plaquettes carrées dont les dimensions sont passées de 10 cm de côté à des standards actuels compris entre 12,5 et 15 cm. [17]

III.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire (photons) en électricité au sein d'un matériau semi-conducteur. Ce processus physique provoque un flux d'électrons, qui à son tour crée un courant électrique continu dans la cellule solaire.

L'apparition de l'effet photovoltaïque est conditionnée par la présence d'une barrière de potentiel au sein du semi-conducteur. Cette barrière est classiquement établie à l'interface de deux zones dopées différemment, formant une jonction P-N. Sous l'action du rayonnement incident, les porteurs de charge libérés par l'effet photoélectrique sont séparés par le champ électrique interne : les charges négatives et positives sont alors drainées vers des zones opposées, créant ainsi une différence de potentiel.

L'effet photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en électricité via la génération et le transport de porteurs de charge au sein d'un matériau semi-conducteur. Ce dispositif est structuré en deux zones distinctes : une zone de type N présentant un excès d'électrons et une zone de type P caractérisée par un déficit électronique (trous). Lors de la mise en contact de ces deux régions, un phénomène de diffusion s'opère : les électrons majoritaires de la zone N migrent vers la zone P, créant ainsi une zone de déplétion et un champ électrique interne essentiel au fonctionnement de la cellule. [16]

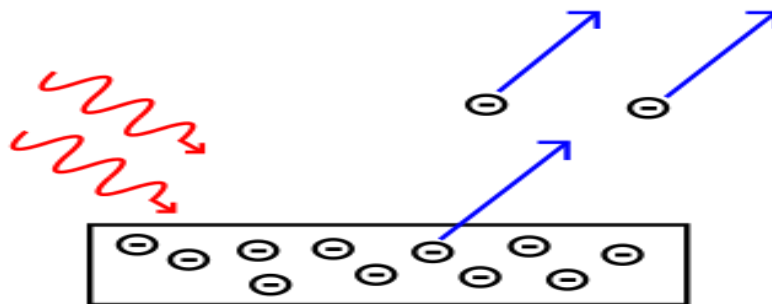


Figure III.1 : Principe de l'effet photoélectrique

La cellule photovoltaïque est conçue à partir de deux couches de silicium : l'une de type P (dopée au bore) et l'autre de type N (dopée au phosphore), formant ainsi une jonction P-N dotée d'une barrière de potentiel. Sous l'effet de l'absorption des photons, l'énergie transmise aux atomes du semi-conducteur libère des porteurs de charge, créant des paires électron-trou. Ce processus génère alors une différence de potentiel entre les deux couches de la cellule. [18]

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est régi par plusieurs relations mathématiques fondamentales qui décrivent le comportement des charges sous l'effet de la lumière : [19]

- a) **Relation générale Courant-Tension (I-V) :** Cette équation définit le courant total (I) circulant dans la jonction p-n en fonction de la tension appliquée (V):

$$I = I_{is} \left(e^{\frac{V}{\eta u_T}} - 1 \right) - I_{ph}$$

- ✓ I_{is} : Courant de saturation inverse (ou courant d'obscurité).
- ✓ η : Facteur d'idéalité de la jonction.
- ✓ u_T : Tension thermique.

b) Définition de la tension thermique (u_T):

Elle dépend de la température absolue (T) de la cellule:

$$u_T = \frac{K}{q} \cdot T$$

- ✓ K: Constante de Boltzmann.
- ✓ q: Charge de l'électron

c) Calcul du courant photo-générer I_{ph}

Le courant produit par la lumière dépend de la géométrie de la cellule et des propriétés de diffusion des matériaux.

Deux cas sont présentés selon l'épaisseur des régions (W) par rapport à la longueur de diffusion (L):

Cas des régions larges ($W_p \gg L_n$ et $W_n \gg L_p$):

$$I_p = q * G_{ph} (L_n + L_p) * A$$

Cas des régions minces ($W_p \ll L_n$ et $W_n \ll L_p$):

$$I_{ph} = G_{ph} (W_n + W_p) * \frac{A}{2}$$

- ✓ G_{ph} : Taux de génération photoélectrique.
- ✓ A: Surface de la section de la cellule

d) Équation finale pour les applications photovoltaïques :

Pour simplifier l'étude de la cellule en tant que génératrice de puissance, le signal du courant est inversé pour que le courant produit soit positif:

$$I = I_{ph} - I_{is} \left(e^{\frac{V}{\eta u_T}} - 1 \right)$$

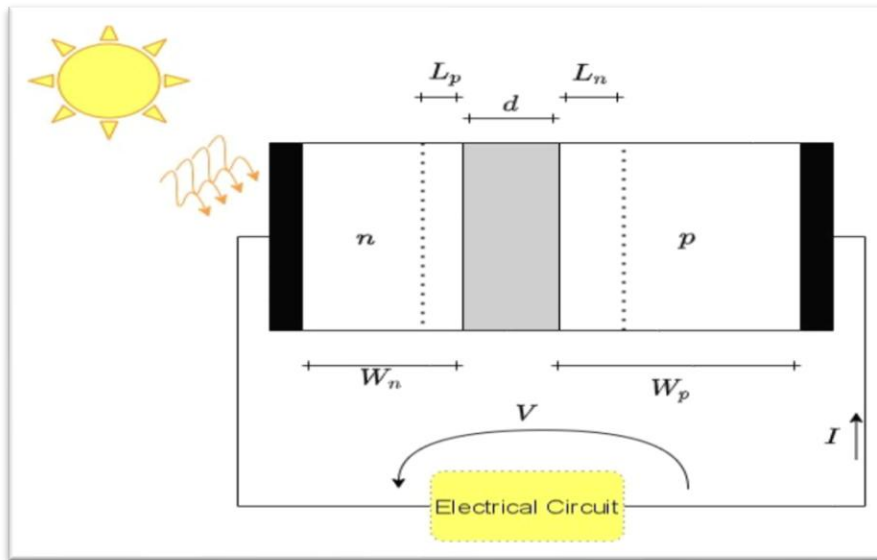


Fig. III.2. Schéma d'une cellule solaire à jonction p-n. [19]

III.2.4. Technologie d'une cellule photovoltaïque

Les technologies des cellules photovoltaïques sont classées en trois générations principales, selon les matériaux utilisés et les procédés de fabrication :

1^{ère} génération: Silicium cristallin (monocristallin et polycristallin)

Cette technologie repose sur des plaquettes de silicium (wafers) découpées dans des lingots purifiés à 99,99999 %.



Fig. III.3 : Etape de fabrication des cellules[19]

On distingue deux types :

a) Les cellules monocristallines :

Reconnaissables à leur aspect uniforme et leurs coins tronqués.

b) Les cellules polycristallines :

Caractérisées par un aspect irisé dû à l'orientation des cristaux.

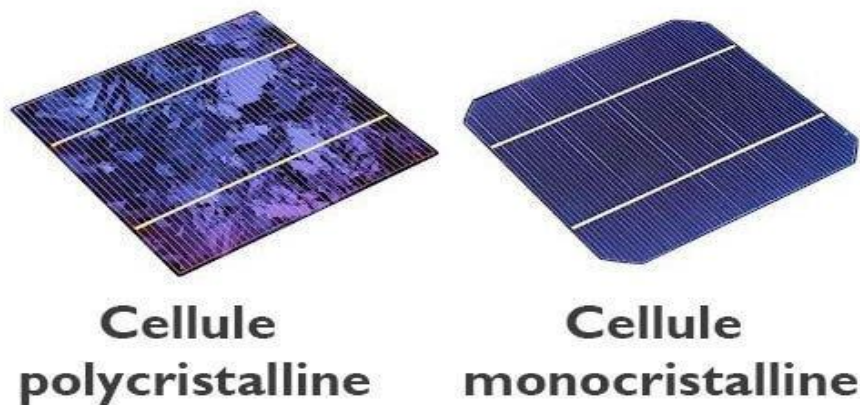


Fig. III.4 : cellule mono cristalline et poly cristalline

2^{ème} génération : Couches minces (Thin-Film)

Cette génération consiste à déposer des matériaux semi-conducteurs en couches très minces (de quelques nanomètres à quelques micromètres) sur un substrat via des procédés comme le PE-CVD. Les principales technologies sont le tellure de cadmium (CdTe), le CIGS (cuivre, indium, gallium, sélénium), ainsi que le silicium amorphe et microcristallin.

Ces technologies sont devenues compétitives grâce à l'optimisation des coûts de production industrielle.

3^{ème} génération : Technologies photo-électro-chimiques (Organique et DSC)

Ces cellules, comme les cellules photovoltaïques organiques (OPV) ou les cellules à colorant (Dye Sensitized Cells - DSC), utilisent des molécules organiques ou des polymères pour leur couche active.

Elles visent à réduire drastiquement les coûts de fabrication grâce à des procédés de production en continu (roll-to-roll) et offrent une flexibilité permettant une intégration sur divers types de surfaces.[20]

III.3. Spectre du rayonnement solaire

III.3.1. Composantes du rayonnement solaire arrivant au sol

Le Soleil est une étoile gazeuse constituée essentiellement d'hydrogène (75 %) et d'hélium (23 %). Son noyau est le siège de réactions thermonucléaires irréversibles qui transforment, chaque seconde, des millions de tonnes d'hydrogène en hélium.

Ce processus libère une énergie monumentale sous forme de rayonnement électromagnétique, conformément à la loi d'Einstein ($E = h \cdot \nu$), constituant ainsi la principale source d'énergie pour l'atmosphère terrestre [8].

Selon la théorie de Max Planck, ce rayonnement est perçu comme un flux de photons dont l'énergie élémentaire est inversement proportionnelle à la longueur d'onde [9].

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Le spectre de cette émission est très vaste, mais environ 98 % de l'énergie totale émise est concentrée dans l'intervalle allant de 0.25 μm à 4 μm . Cette énergie se répartit entre le domaine ultraviolet (8.73 %), le domaine visible (38.15 %) et le domaine infrarouge (53.12 %) [10].

Globalement, le rayonnement solaire est assimilé à celui d'un corps noir porté à une température de 5 780 K, régi par la loi de Stefan-Boltzmann pour l'émittance totale et la loi de Wien pour le pic maximal d'émission [9].

Enfin, alors que le Soleil émet des ondes courtes, la Terre réémet cette énergie vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge à ondes longues, situées entre 4 et 80 μm [8].

L'analyse quantitative de ce rayonnement permet de subdiviser l'énergie émise en trois domaines distincts, définis par leurs intervalles de longueurs d'onde spécifiques (**Fig. I.7**) :

- **Le domaine Ultraviolet ($\lambda < 0.4\mu\text{m}$)** : Bien qu'invisible, il concentre environ 7 % de l'énergie totale. C'est la partie la plus énergétique du spectre, bien que largement filtrée par la couche d'ozone.
- **Le domaine Visible ($0.4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0.8\mu\text{m}$)** : Il représente le cœur du spectre avec environ 47,5 % de l'énergie. C'est dans cette bande que l'intensité lumineuse est maximale, perçue par l'œil humain comme la lumière blanche.
- **Le domaine Infrarouge ($\lambda > 0.8\mu\text{m}$)** : Constituant environ 45,5 % de l'apport solaire, ce rayonnement est responsable de l'effet thermique. Il se prolonge jusqu'à 4 μm , limite au-delà de laquelle l'énergie résiduelle devient négligeable (inférieure à 1 %).

D'un point de vue thermodynamique, le rayonnement solaire est assimilable à celui d'un corps noir porté à une température effective de $T = 5800K$. Cette approximation est particulièrement valide dans l'intervalle principal du spectre allant de $0.25\mu m$ et $4\mu m$, zone où se concentre la quasi-totalité de l'énergie radiative reçue[21].

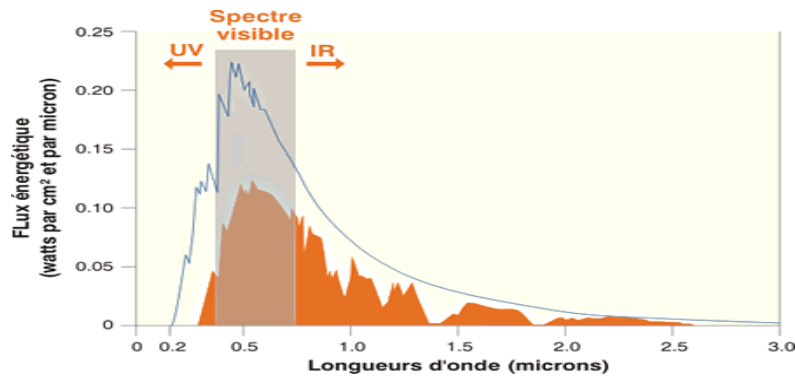


Fig. III.5 : Analyse spectrale du rayonnement solaire

III.3.2. Types de rayonnement

Il y a quatre types de rayonnement :

a) Le rayonnement solaire direct

Il représente la fraction de l'énergie solaire qui parvient directement à la surface terrestre en provenance du disque solaire, sans subir de déviation ni d'absorption par l'atmosphère. Ce flux est caractérisé par son parallélisme et sa dépendance étroite vis-à-vis de : La masse d'air atmosphérique : l'épaisseur de la couche d'air traversée par les rayons. L'angle d'incidence : l'inclinaison des rayons par rapport à la normale de la surface de réception.

b) Le rayonnement solaire diffus

Cette composante correspond au rayonnement qui a été dévié de sa trajectoire initiale par les processus de diffusion (Scattering) dus aux molécules d'air, aux aérosols, aux poussières et aux formations nuageuses. Contrairement au rayonnement direct, le flux diffus provient de toutes les directions de la voûte céleste (rayonnement isotrope ou anisotrope selon les modèles).

c) Le rayonnement solaire réfléchi

Également appelé "Albédo", il désigne la part du rayonnement global (direct et diffus) qui est renvoyée par le sol ou les obstacles environnants vers la surface considérée. Ce paramètre est

crucial pour les surfaces inclinées et dépend de la nature du revêtement au sol. On distingue deux types de réflexion : La réflexion spéculaire : où le rayonnement est renvoyé dans une direction unique et privilégiée (effet miroir). La réflexion diffuse : où l'énergie est redistribuée uniformément dans toutes les directions de l'espace.

d) Le rayonnement solaire global

Le rayonnement global constitue la somme énergétique totale reçue par une surface horizontale ou inclinée. Il est défini mathématiquement comme la superposition des trois composantes précitées :

Cette grandeur représente l'énergie disponible réelle pour les systèmes de conversion énergétique (photovoltaïque ou thermique) à un instant donné.

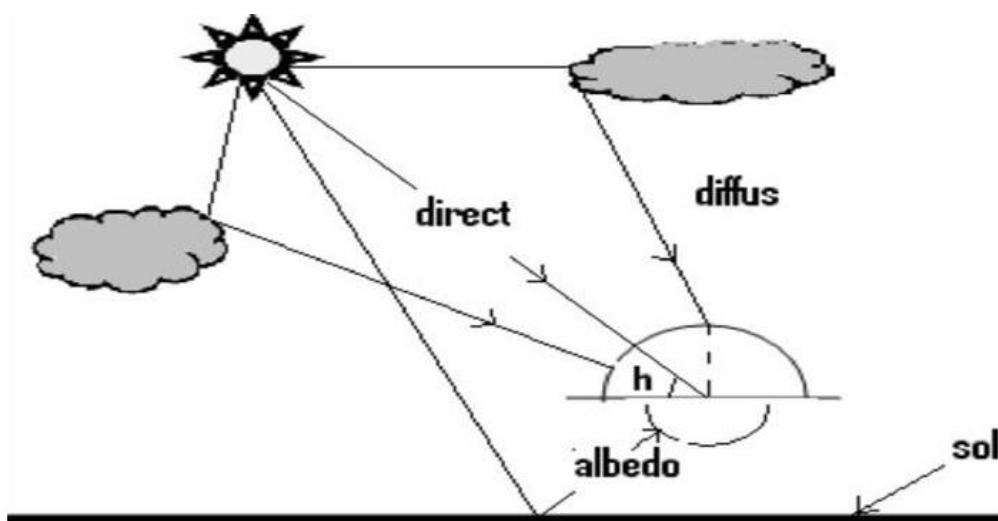


Figure III.6 : Différents composants du rayonnement.

III.4. Caractéristique d'une cellule PV

III.4.1. Caractéristique courant tension $I(V)$:

Dans l'obscurité, la cellule photovoltaïque se comporte comme une diode classique et présente une caractéristique courant-tension similaire. Sous illumination, une photo courant est générée et s'oppose au courant de diffusion des porteurs de charges. Si l'on met la cellule en court-circuit ($V = 0$), celle-ci ne délivre aucune puissance. De même, si l'on mesure la tension sans connecter de charge pour faire débiter un courant ($I = 0$), la cellule est en circuit ouvert, et la puissance électrique est par conséquent nulle [22].

À partir de ces deux cas de la (Figure), il est possible de mesurer deux caractéristiques fondamentales d'une cellule :

le courant de court-circuit I_{CC} ou I_{SC} et la tension en circuit ouvert U_{CO} ou V_{OC}

Entre ces deux points, l'insertion de charges variables (des résistances par exemple) permet de tracer la caractéristique courant-tension complète.

Celle-ci semble être une simple translation de la caractéristique de la diode, bien qu'en réalité, la photo courant soit dépendant de la tension.

Il existe sur cette courbe un point P_m où la puissance délivrée atteint son maximum. Ce point correspond à deux coordonnées spécifiques : I_m , l'intensité de puissance maximale, et V_m , la tension de puissance maximale. En anglais, ce point est noté PMPP (*Maximum Power Point*).

On emploie également les termes de puissance, tension et courant nominaux

En réalité, I_{CC} possède une valeur négative, ce qui confirme que la cellule agit bien comme un générateur lorsqu'elle est éclairée. Toutefois, par convention, un courant positif est

Utilisé pour le tracé de la courbe I(V) (Figure III.9). [22].

Figure III.9 : Caractéristique courant-tension d'une cellule PV sous différents éclairagements

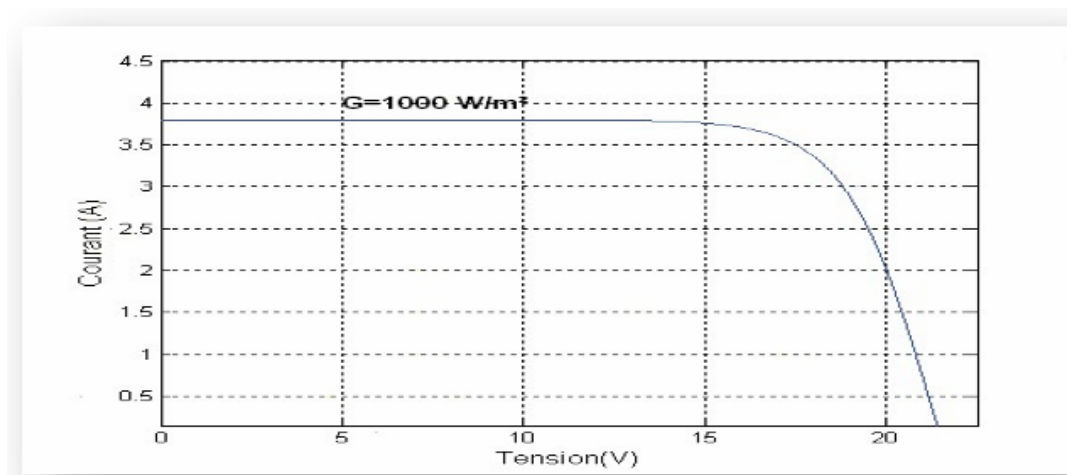


Figure III.7 : Caractéristique I(V) d'une cellule solaire, T=25°C.

III.4.2. Courant de court-circuit (I_{cc}) :

Le courant de court-circuit I_{cc} présente une proportionnalité directe avec le flux énergétique incident, couramment appelé éclairement.

Bien qu'il soit principalement régi par la surface active de la cellule, sa valeur subit également l'influence de variables environnementales telles que la température ambiante et la vitesse de convection de l'air. Pour les technologies au silicium, les ordres de grandeur caractéristiques

de la tension de circuit ouvert I_{co} oscillent entre 0,4 V et 0,68 V, tandis que la densité de courant I_{cc} est typiquement de 12 mA/cm². [13]

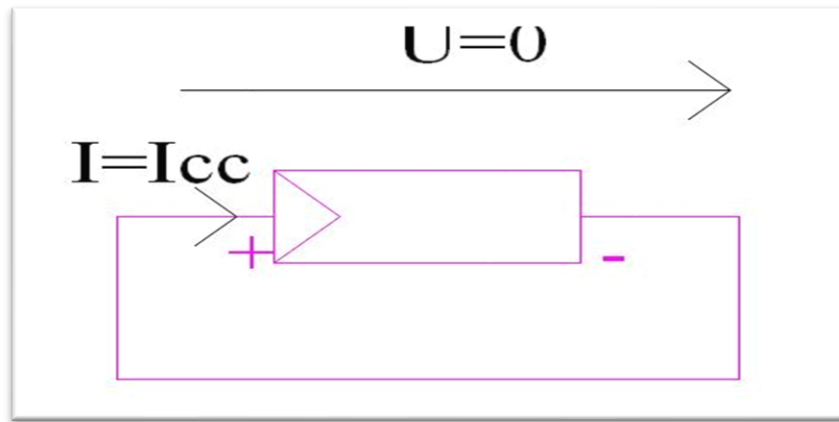


Figure III.8: Le courant de court-circuit noté I_{cc}

III.4.3. Tension de circuit-ouvert (V_{co}) :

Comme l'illustre la figure III.9, la tension de circuit ouvert est régie par la nature de la jonction électronique. Contrairement au courant de court-circuit, la V_{co} manifeste une saturation rapide en fonction de l'éclairement. En conditions terrestres, elle est considérée comme stable pour tout flux énergétique supérieur à 100 W/m², ce qui garantit une certaine régularité de la tension aux bornes de la cellule, même sous un ciel fortement obstrué. [23]

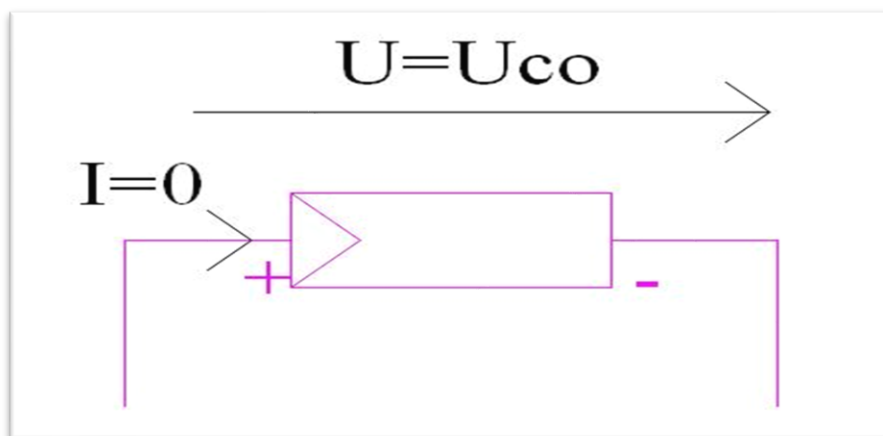


Fig. III.9 La tension en circuit ouvert notée U_{co}

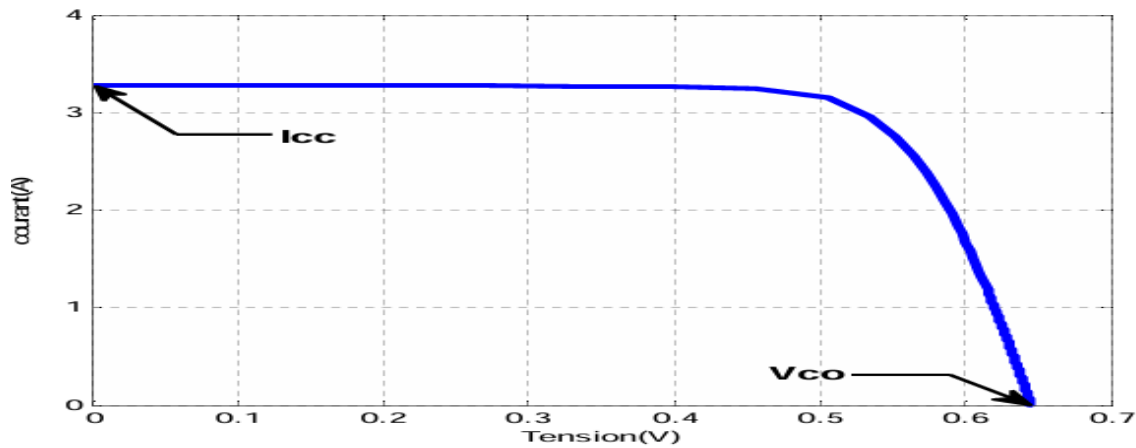


Figure III.10 : Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire

III.4.4. Puissance de la cellule PV :

Tous les conditions environnementales constantes (éclairage, température, vitesse de l'air ambiant, etc.), la puissance électrique disponible aux bornes d'une cellule solaire est déterminée par le produit du courant (I) et de la tension (V). Cette puissance varie en fonction de la charge et atteint une valeur maximale, appelée point de puissance maximale (P_{max}), qui correspond au point optimal de fonctionnement sur la courbe caractéristique.[23]

$$P=V*I$$

- ✓ P : puissance mesurée en sortie de la cellule solaire.
- ✓ V : tension mesurée aux bornes de la cellule solaire.
- ✓ I : intensité mesurée dans la cellule solaire.

La caractéristique puissance-tension d'une cellule est donnée par la figure (III.13) :

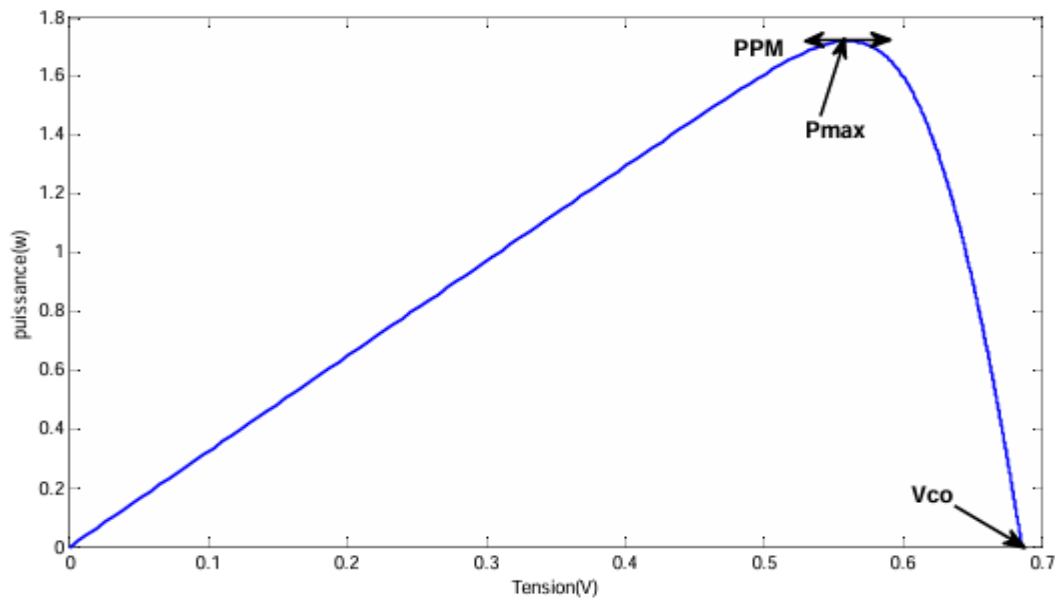


Figure III.11. Caractéristique puissance-tension d'une cellule solaire.

III.4.5. Puissance maximale d'une cellule PV :

Puissance d'une cellule solaire : Modèle idéal et réalité dans le cadre d'un modèle idéal, la puissance maximale théorique, notée $P_{max(idéale)}$, est définie par le produit de la tension en circuit ouvert (V_{CO}) et du courant de court-circuit (I_{CC}), selon l'équation : En pratique, la courbe caractéristique d'une cellule solaire est plus « arrondie » (figure III.12).

$$P_{max(idéale)} = V_{CO} * I_{CC}$$

De fait, au point de puissance maximale, la tension est inférieure à la tension de circuit ouvert (V_{CO}), et le courant fourni $I\}$ est inférieur au courant de court-circuit (I_{CC}). Par conséquent, l'expression de la puissance réelle en ce point est déterminée par le produit de ces valeurs effectives ($P_{PPM} = V_{PPM} * I_{PPM}$), qui est nécessairement inférieur à la valeur théorique idéale.[25]

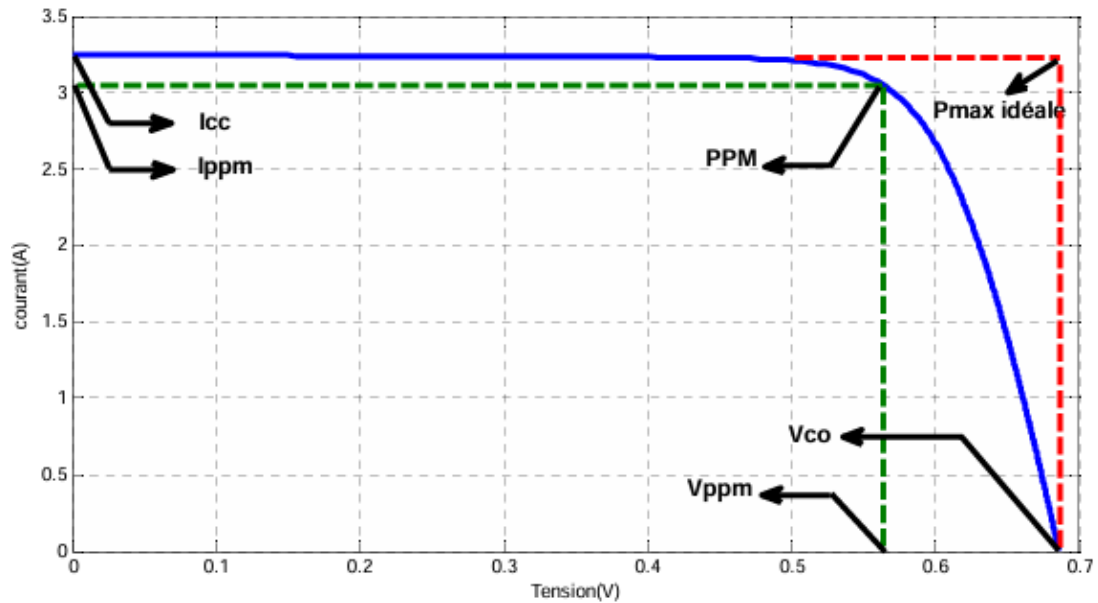


Fig. III.12: caractéristique courant-tension illustre le point P_{max} d'une cellule PV.

III.4.6. Facteur de forme :

Le facteur de forme (FF) est défini comme le rapport entre la puissance maximale (P_{max}) délivrée par la cellule sous des conditions déterminées d'éclairement, de température et de vitesse de circulation de l'air ambiant, et le produit du courant de court-circuit (I_{CC}) par la tension en circuit ouvert (V_{CO}), ce dernier représentant la puissance maximale d'une cellule idéale.[13]

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{CO} * I_{CC}} = \frac{V_{PPM} * I_{PPM}}{V_{CO} * I_{CC}}$$

- V_{CO} : La tension du circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule solaire.
- I_{CC} : L'intensité mesurée lors d'un court-circuit.[14].

III.4.7. Avantages et inconvénients d'une installation PV :

Les systèmes photovoltaïques présentent un grand nombre d'avantages et d'inconvénients qui sont :

III.4.7.1 Avantages :

- L'investissement dans les panneaux solaires offre de nombreux avantages, notamment la réduction de la facture d'électricité et de l'empreinte carbone des entreprises, tout

en permettant de réaliser des économies à long terme grâce à un amortissement rapide et des subventions qui réduisent le coût initial.

- Ces systèmes constituent une source d'énergie renouvelable, non polluante et durable, ne dégageant ni odeurs ni émissions discernables, ce qui en fait une alternative écologique aux sources traditionnelles comme le charbon ou le gaz naturel.
- Ils peuvent fonctionner comme des systèmes autonomes et sécurisés, sans surveillance pendant de longues périodes, et présentent une haute fiabilité due à l'absence de pièces mobiles, ce qui est idéal pour les régions isolées ou les engins spatiaux.
- La technologie photovoltaïque n'exige aucun raccordement à une autre source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant fossile, car elle utilise une énergie gratuite et abondante fournie par la nature.
- Ces dispositifs sont capables de résister à des conditions atmosphériques pénibles, telles que la neige et la glace, et bénéficient d'une longue durée de vie sans nécessiter de maintenance complexe.
- Le système modulaire des panneaux permet un montage adaptable à des besoins énergétiques variés, allant du milliwatt au mégawatt, et peut être combiné avec d'autres sources d'énergie pour accroître la fiabilité globale.
- Enfin, cette solution est silencieuse et n'entraîne aucune perturbation du milieu naturel, ce qui est particulièrement avantageux pour les entreprises possédant des sites de production dispersés.

III.4.7.2. Inconvénient :

- A fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui engendre un coût d'investissement initial particulièrement élevé.
- Le système de stockage de l'énergie, indispensable pour pallier l'intermittence de la production, représente un poste de dépense très onéreux.
- Le rendement du système est directement tributaire des conditions météorologiques et de l'emplacement géographique, ce qui rend la production variable et inadaptée aux régions particulièrement sombres ou nuageuses.
- Bien que les générateurs photovoltaïques soient parfois moins compétitifs que les groupes diesel, ils s'avèrent nettement plus rentables dans les zones isolées où le transport du carburant est excessivement cher.

- Le marché professionnel présente des risques liés à certains prestataires qui facturent des services coûteux pour du matériel d'entrée de gamme, malgré une image de marque parfois trompeuse.
- La durée de vie des panneaux, s'étendant généralement de 20 à 40 ans, impose aux entreprises de financer l'installation ainsi que l'entretien et la maintenance rigoureuse des équipements sur le long terme.
- L'optimisation de la rentabilité exige l'intervention de spécialistes qualifiés pour garantir une installation sécurisée et une orientation optimale afin de maximiser l'exposition solaire [26].

III.5. Influence des paramètres climatiques :

Les caractéristiques de fonctionnement des panneaux photovoltaïques sont directement influencées par deux facteurs principaux : l'intensité du rayonnement solaire et la température des cellules.

La réponse de ces paramètres électriques varie selon la technologie utilisée pour la fabrication du générateur photovoltaïque. [27]

III.5.1. Influence de l'irradiation :

L'intensité du courant produit varie de manière proportionnelle à l'éclairement lumineux, tandis que la tension demeure relativement constante.

Comme l'illustre (la figure I.16) le courant optimal présente une forte sensibilité aux variations de l'éclairement, alors que la tension optimale n'est que très peu affectée par ces changements.

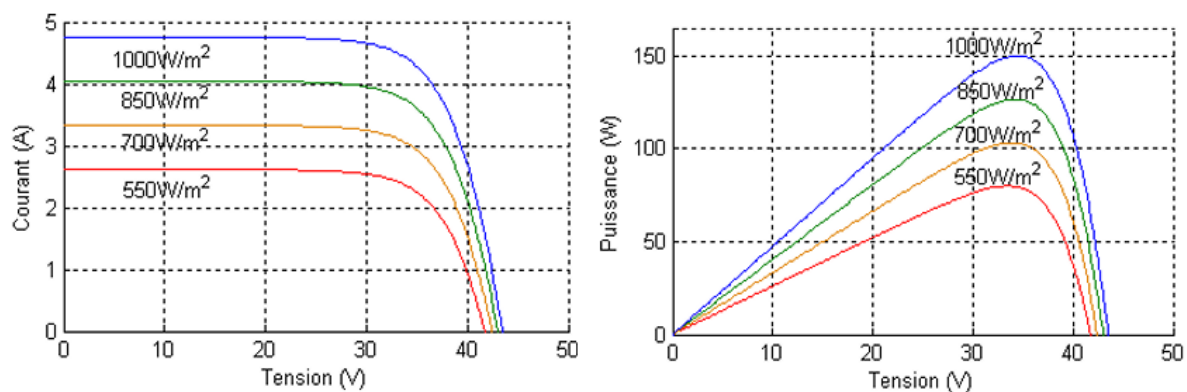


Fig. III.13 : Evolution de la caractéristique (I-V) et (P-V) du module en fonction de l'irradiation

III.5.2. Influence de la température :

L'analyse du comportement thermique des cellules photovoltaïques révèle une corrélation inverse entre la température et la tension en circuit ouvert (V_{co}), alors que le courant de court-circuit (I_{cc}) subit une variation moins prononcée (Fig. I.17). Cette chute de courant à basse température est principalement imputable à la diminution du courant de saturation. Par conséquent, il est admis en première approximation que le point de fonctionnement optimal du générateur PV peut être stabilisé autour d'une tension optimale constante. [26]

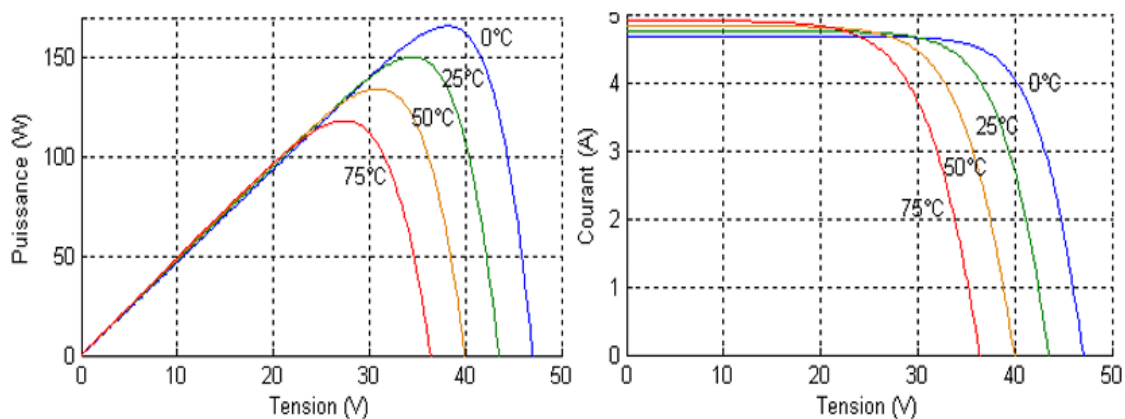


Figure III.14: Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) du module en fonction de la température

III.6. Modélisation de cellule PV :

Le modèle photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite.

On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série R_s et les courants de fuite par une résistance en parallèle R_{sh} . [28]

Le modèle mathématique du générateur photovoltaïque est basé sur le circuit équivalent. Ce circuit est représenté sur la Fig. 3, par un générateur de courant, une diode et deux résistances R_s et R_{sh} . [30]

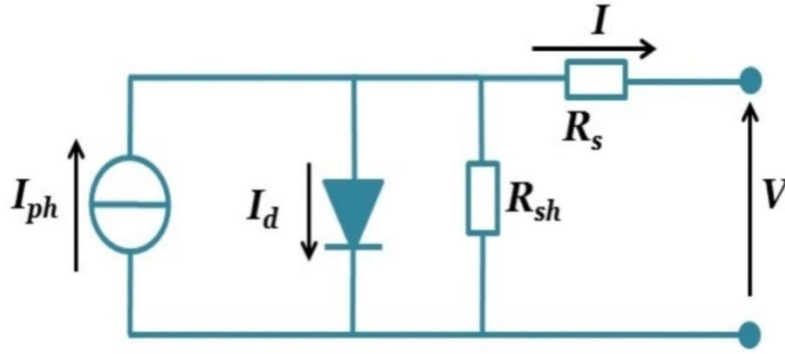


Figure.III.15 : Schéma électrique d'une cellule PV.

La caractéristique courant-tension d'une cellule solaire se met sous la forme mathématique suivante:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{(V + R_s I)}{U_T} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V + R_s I}{R_{sh}} \right) \quad (\text{III.1})$$

Le photo-courant I_{ph} est créé dans la structure par une partie du rayonnement absorbé:

$$I_{ph} = [I_{sc}(T_1, E_1) + K_i(T_c - T_1)] \frac{E}{E_1} \quad (\text{III.2})$$

Le courant de saturation inverse de la diode I_s est donné par:

$$I_s = I_{rs}(T_1, E_1) \left(\frac{T_c}{T_1} \right)^3 \exp \left(\frac{E_g}{\frac{U_T}{T} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_c} \right)} \right) \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}(T_1, E_1)}{\exp \left(\frac{q \cdot V_{co}}{N_s \cdot A K T_c} \right) - 1} \quad (\text{III.4})$$

Figure.III.2 : Modèle de générateur PV.

$$U_T = \frac{A K T_c}{q} \quad (\text{III.5})$$

III.7. Simulation d'une cellule PV :

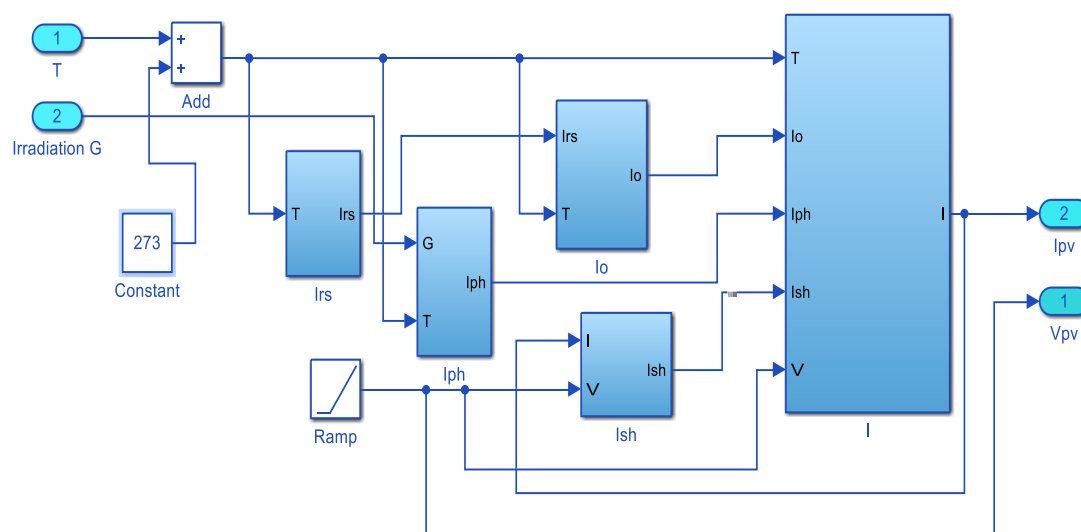


Fig.III.16: Bloc Simulink de simulation d'une cellule PV

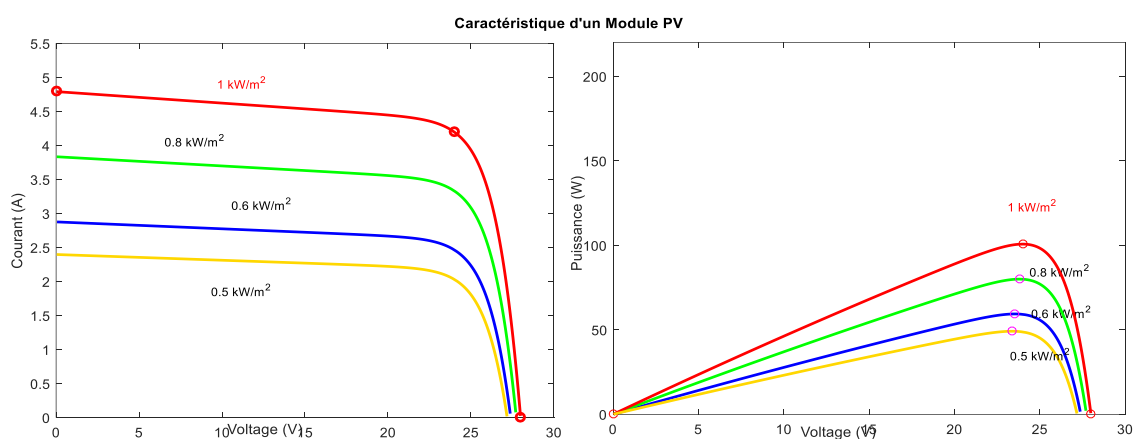


Figure.III.17 : Caractéristique I(V) et P(V) d'un PV pour différents éclaircissements.

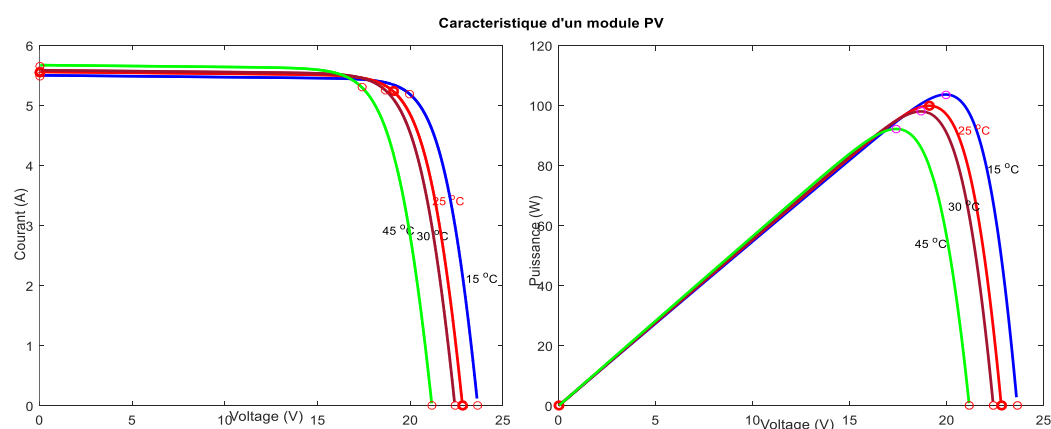


Figure.III.18 : Caractéristique I(V) et P(V) d'un GPV pour différentes températures.

Les résultats des courbes montrent que l'augmentation de la température des panneaux solaires augmente leur résistance interne, entraînant ainsi une réduction du courant électrique produit (I), ce qui se traduit par une baisse de la tension de circuit ouvert (V_{oc}) et du courant de court-circuit (I_{sc}), et par conséquent une diminution de l'efficacité des panneaux solaires. D'autre part, l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire entraîne une augmentation du courant de court-circuit (I_{sc}) et de la tension de circuit ouvert (V_{oc}), ce qui se traduit par une augmentation de la capacité des panneaux solaires à générer de l'énergie ($P-V$). Par conséquent, il est essentiel de prendre en compte ces facteurs lors de la conception et de l'exploitation des systèmes photovoltaïques, ainsi que d'appliquer des techniques de refroidissement et de contrôle de la température pour maintenir les performances des panneaux solaires au niveau maximal possible dans différentes conditions environnementales.

III.8. Techniques de commande de MPPT (P&O) :

La méthode P&O est la plus facile pour la recherche du point de puissance maximal PPM. Dans le cas d'une application photovoltaïque, il s'agit concrètement d'un algorithme [27]:

- ✓ Pour une tension $U(k)$ fixée va mesurer la puissance correspondante $P(k)$ délivrée par le générateur.
- ✓ Après un certain temps, l'algorithme impose une tension:
 $U(k+1) = U(k) + \Delta U$ et mesure également la puissance correspondante $P(k+1)$,
- ✓ Si $P(k+1)$ est supérieure à $P(k)$: l'algorithme cherche à imposer une tension plus grande
 $U(k+2) = U(k+1) + \Delta U$. Sinon l'algorithme cherchera au contraire à abaisser la tension $U(k+2) = U(k+1) - \Delta U$. [28]

En peut déduire le principe de la méthode P&O qui :

Si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers d'un ordre de commande. [27]; La figure suivant représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O.

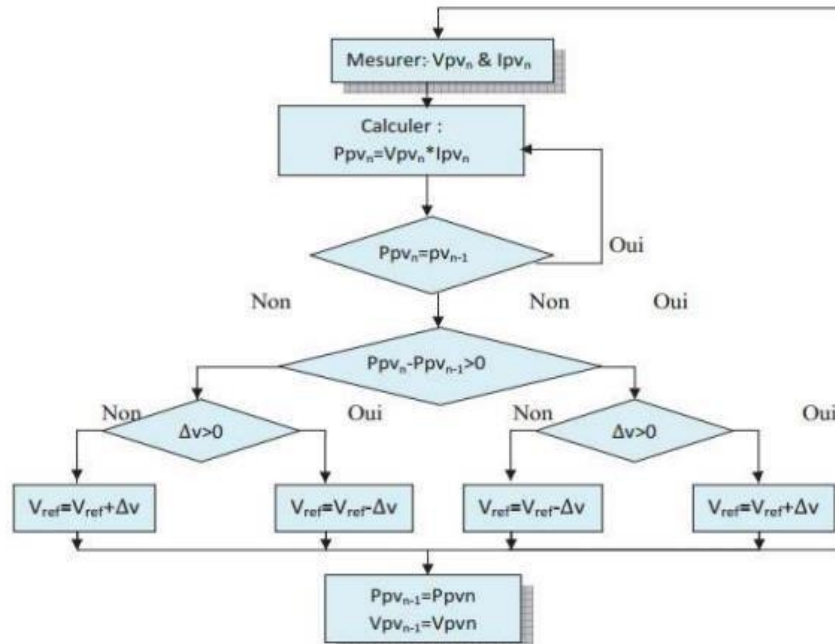


Figure.III.19 : Technique MPPT algorithme P&O.

III.9. Simulation avec MPPT (régulateur) sur MATLAB/Simulink :

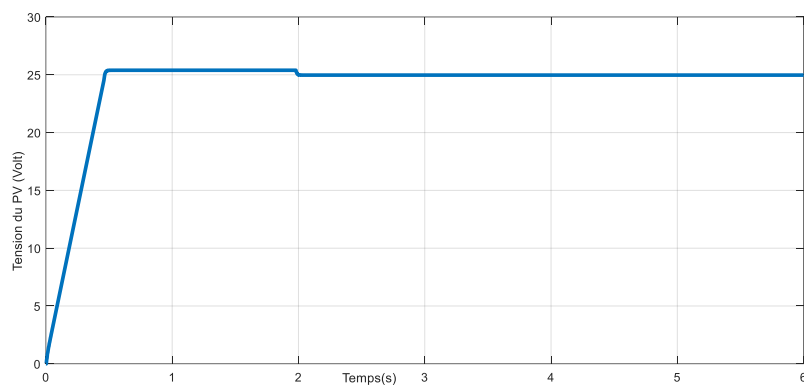


Figure.III.20: Tension délivrée par le PV pour charger la batterie

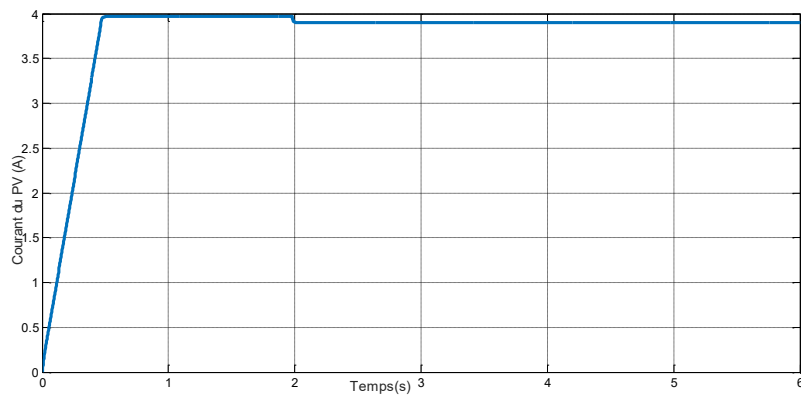


Figure.III.21: courant de PV pour charger la batterie

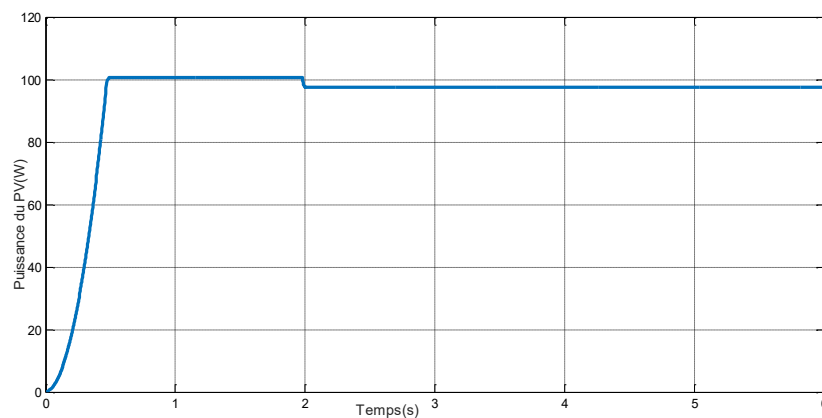


Figure.III.22 : Puissance d'un PV en charge de la batterie.

- La courbe de la production d'énergie d'un panneau photovoltaïque avec une variation de l'ensoleillement, dues aux conditions météorologiques, influencent directement la production d'énergie
- Un stockage d'énergie dans la batterie avec une variation du rayonnement solaire.
- Les résultats de la simulation montrent que le système photovoltaïque (PV) avec un moteur DC peut être efficace pour fournir une propulsion de la chaise roulante, à condition que le système soit correctement dimensionné et optimisé. Les principales conclusions incluent La nécessité de maximiser l'exposition solaire d'un panneau PV pour optimiser la production d'énergie. L'importance de choisir un MCC dont les caractéristiques sont adaptées aux besoins du système.



Figure.III.23: Un panneau PV au toit de la CRE



Figure.III.24: Un panneau PV pliant sur la CRE

III. 10. Choix d'une batterie pour la CRE :

La Figure.III.25 représente la structure d'une chaîne de conversion d'énergie à partir du panneau PV à la charge de la batterie à travers d'un régulateur MPPT puis à l'actionneur qui est le moteur DC avec le réducteur de vitesse, multiplicateur du couple.

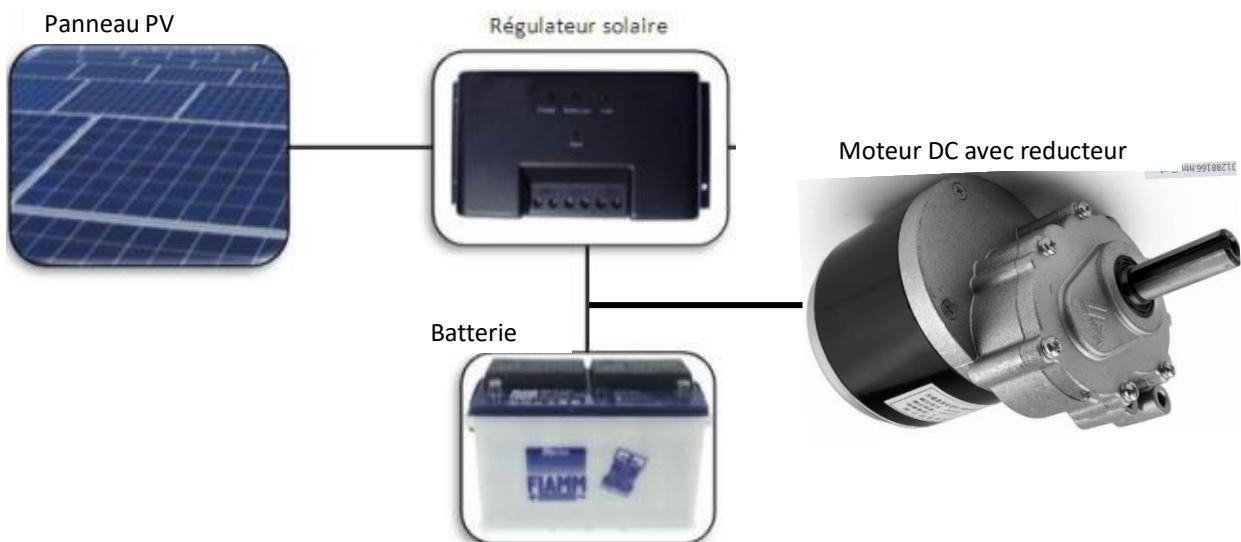


Figure.III.25: Structure d'une chaîne de conversion d'énergie

Il est tout à fait déconseillé d'utiliser des batteries de démarrage sur les chaises électriques : les batteries de démarrage peuvent délivrer des courants importants très importants pendant quelques secondes, mais ne résistent pas à un nombre important de cycles charge / décharge avec une profondeur de décharge importante. Deux types de batteries étanches équipent les chaises roulantes :

-les batteries Gel: sont les plus couramment utilisées sur les CRE. Elles résistent bien à un nombre important de cycle charge / décharge. Seul inconvénient, leur prix.

- les batteries AGM : permettent d'obtenir des fortes puissances (elles peuvent être déchargées rapidement). Les batteries AGM présentent deux inconvénients majeurs :
- leur relativement faible durée de vie en cyclage (compensée par leur moindre coût que les batteries Gel)
- les batteries supportent très mal d'être totalement déchargées : pas de décharge supérieure à 85 - 90 % sinon les batteries AGM risquent de perdre une grande partie de leur capacité. Les batteries AGM devront être rechargées avant d'être totalement "à plat ». [35]

L'objectif est de charger les batteries afin d'assurer et/ou prolonger l'autonomie de la chaise électrique Adaptée par Panneau Solaire

Les batteries sont de 2x12V de 28 Ah chacune (ou de 1x24V). Cela revient à un bloc de 24V pour une puissance de 28Ah.

III.11.Conclusion :

L'analyse technique des trois composants principaux du fauteuil roulant électrique solaire - le panneau photovoltaïque, la batterie et le moteur DC - démontre la cohérence et la complémentarité de ce système intègre. Le choix d'un panneau monocristallin de 100 W, d'une batterie Plomb-Acide GEL de 24 V / 28 Ah et de moteurs DC de 200 W chacun constitue un compromis optimal entre performance, cout, autonomie et fiabilité.

Les spécifications retenues permettent d'assurer une vitesse de déplacement de 6 à 12 km/h, une autonomie de 3 à 4 heures d'utilisation continue, et une recharge autonome grâce au panneau solaire dans des conditions d'ensoleillement normales pour toute la région algérienne. Cette approche contribue directement à l'indépendance énergétique et à la liberté de mouvement des personnes à mobilité réduite.

En perspective, l'optimisation de ces spécifications passera par l'adoption de batteries Li-ion pour réduire le poids global, et le développement d'algorithmes de gestion intelligente de l'Energie pour prolonger davantage l'autonomie du système.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce projet de mémoire master est basé sur l'étude d'une chaise roulante électrique adapter par un panneau solaire photovoltaïque pour charger une batterie de 24V (ou deux batteries montées en série) , même avec une durée langue le PV donne une bonne solution pour l'autonomie d'énergie pour une personne handicapée ou à mobilité réduite.

Dans le **premier chapitre** de ce mémoire tout d'abord nous avons présenté des généralités sur la chaise roulante en commençant par un bref historique des chaises roulantes en détaillant les catégories des chaises roulantes et leurs différentes caractéristiques et leurs critères de choix. La motorisation des chaises roulantes s'adaptent sur la plupart des CRM. Elles ont pour avantage un poids inférieur à celui des petites CRE, ce qui facilite leur démontage, mais leurs performances au plan autonomie, puissance et franchissement d'obstacles leur sont la plupart du temps inférieures.

Dans le **deuxième chapitre** tout d'abord nous avons présenté le principe de la motorisation de la chaise roulante, les types des moteurs peuvent être utilisés pour la CRE et les caractéristiques du moteur choisi pour notre chaise , ensuite nous avons choisi un moteur à courant continu MCC avec balais afin d'effectuer sa commande et l'exploiter dans la propulsion de notre chaise roulante.

Le **dernier chapitre** est consacré à la charge de la batterie par un panneau photovoltaïque(PV) L'analyse technique des trois composants principaux du fauteuil roulant électrique solaire - le panneau photovoltaïque, la batterie et le moteur DC - démontre la cohérence et la complémentarité de ce système intègre. Le choix d'un panneau monocristallin de 100 W, d'une batterie Plomb-Acide GEL de 24 V / 28 Ah et de moteurs DC de 200 W chacun constitue un compromis optimal entre performance, cout, autonomie et fiabilité.

En conclusion de cette étude, nous avons focalisé notre analyse sur Les résultats ont montré la possibilité d'utiliser ce type de système efficacement pour répondre au besoin de recharge la batterie de la chaise au moment de son déplacement ou lors de son arrêt sous l'ensoleillement (au jour) dans une région éloignée du secteur réseau électrique , en assurant un approvisionnement continu et durable en énergie électrique.

L'étude souligne l'importance de tirer parti de l'énergie renouvelable pour fournir des solutions durables aux besoins, il convient de relever les défis liés aux coûts d'exploitation et de maintenance, ainsi que de garantir la durabilité des performances à long terme.

L'étude recommande la nécessité de poursuivre la recherche et le développement dans le domaine de l'amélioration des techniques de stockage d'énergie et du développement de systèmes de contrôle intelligents pour renforcer l'efficacité et la durabilité du système.

Cette étude reflète les efforts déployés pour améliorer l'utilisation de l'énergie renouvelable dans le fonctionnement de la CRE, et indique la possibilité d'appliquer une solution importante et durable pour une personne handicapée ou à mobilité réduite.

Bibliographie

Références bibliographiques :

- [1] : Herman L, Kamenetz ND. The wheelchair book; mobility for disabled. Springfield: Charles C Thomas; 1969.
- [2] : Vignier N, Ravaud JF, Winance M, Lepoutre FX, Ville I. Demographics of wheelchair users in France: results of national community-based handicaps-incapacités-dépendance survey. *J Rehabil Med* 2008;**40**: 231-9.
- [3] : Fitzgerald SG, Collins DM, Cooper RA, Tolerico M, Kelleher A, Hunt P, et al. Issues in maintenance and repairs of wheelchairs: A pilot study. *J Rehabil Res Dev* 2005;**42**:853-62.
- [4] : DiGiovine MM, Cooper RA, Boninger ML, Lawrence BM, VanSickle DP, Renschler AJ. User assessment of manual wheelchair ride comfort and ergonomics. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;**81**:490-4.
- [5] : Cooper RA, Gonzalez J, Lawrence B, Renschler A, Boninger ML, VanSickle DP. Performance of selected lightweight wheelchairs on ANSI/RESNA tests. American National Standards Institute Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;**78**:1138-44.
- [6] : Fauteuil roulant solaire : mobilité pour les personnes à mobilité réduite Arun Manohar Gurrama, P.S.V Ramana Rao*, Raghuveer Dontikurtia et Département d'ingénierie mécanique, Université Centurion de technologie et de gestion, Paralakhemundi, Odisha-761211 Accepté le 18 mars 2012, Disponible en ligne le 19 mars. 2012
- [7] : De Saint Remy, N. (2005). Modélisation et détermination des paramètres biomécaniques de la locomotion en fauteuil roulant manuel (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- [8] : Ait Ghezala, A. (2024). Assistance haptique pour la propulsion en fauteuil roulant manuel (FRM) basée sur une évaluation des capacités biomécaniques de l'utilisateur (Doctoral dissertation, Université Polytechnique Hauts-de-France).
- [9] : Dispositif Santé (2026). Le fauteuil roulant électrique : fonctionnement, composants et critères de choix. Consulté le 22 mars 2026, sur <https://www.dispositif-sante.com/fauteuil-roulant/fauteuil-roulant-electrique/>
- [10] : Jason CHEMAMA Guide du fauteuil roulants manuels électriques et innovations. HANDIEASY, 2 mars 2020.
- [11] : Amazigh, D., & Juba, D. (2018). Planification automatique de trajectoire d'un fauteuil roulant intelligent (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [12] : Fauteuil Roulant Électrique : Un Guide Complet (guide-senior.net)
- [13] : Sanghvi¹, J. J., Shah, M. Y., & Fofaria, J. K. SOLAR ELECTRIC WHEELCHAIR WITH A FOLDABLE PANEL.
- [14] : Sanghvi, J. J., Shah, M. Y., & Fofaria, J. K. SOLAR ELECTRIC WHEELCHAIR WITH A FOLDABLE PANEL. International Journal of Engineering Research.
- [15] : Pita, M. (2020). Design and manufacture of solar-Powered wheelchair. International Journal of Engineering Research and Technology, 13(9), 2153-2156.

- [16] : Kbane. (S.d.). Qu'est-ce qu'une batterie solaire ? Définition et fonctionnement. Consulte le 28 mars 2026, sur <https://www.kbane.com/information/batterie-solaire-definition-fonctionnement/>
- [17] : Cooper, R. A., et al. Wheelchair Selection and Configuration. Demos Medical Publishing.
- [18] : MAIZ HADJ AHMED, O., & BENBAHA, N. (2025). Système PV-batterie-réseau : dimensionnement optimal et validation expérimentale dans la région de Ghardaïa. Doctoral dissertation, university of Ghardaïa.
- [19] : Pita, M. (2020). Design and manufacture of solar-Powered wheelchair. International Journal of Engineering Research and Technology, 13(9), 2153-2156.
- [20] : Advanced Motion Controls (AMC). (2026). Understanding DC Servo Motors and Control Systems. Consulte le 27 Mars 2026, sur <https://www.a-m-c.com/fr/dc-servo-motor/>
- [21] : DirectIndustry. (2026). Comment bien choisir un moteur électrique. Guide d'achat technique. Récupère sur : <https://guide.direct>.
- [22] : MULTON, B. (2008). Production d'énergie électrique par sources renouvelables. Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique, Réf. D 4 005.
- [23] : TANSAOUT, M., & KHEMMAR, S. (2016). Modélisation et simulation d'un panneau photovoltaïque sous MATLAB-SIMULINK (Mémoire de Master Académique). Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté de Génie Électrique et Informatique, Algérie.
- [24] : "https://www.dispositif-sante.com/fauteuil-roulant/fauteuil-roulant-electrique"
- [25] : Y. Bouteraa, "Commande d'un système de pompage photovoltaïque," Mémoire de Master Académique, Dépt. Génie Electrotechnique et Automatique, Univ. 8 Mai 1945 - Guelma, Algérie, 2021.
- [26] : M.Orgeret, Les piles solaires, le composent et ces applications, Préface de F.Allest.
- [27] : A. Bahri, "Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink : Etude pratique site Oued Nechou à Ghardaïa," Revue ElWahat pour les Recherches et les Etudes, vol. 10, no. 1, pp. 1-19, 2017.
- [28] : Marques Lameirinhas, R. A., Torres, J. P. N., & de Melo Cunha, J. P. (2022). A photovoltaic technology review: History, fundamentals and applications. Energies, 15(5), 1823.
- [29] : [7] RAID, Ahmed (2020). Étude d'un Fauteuil Roulant Électrique Adapté par Panneau Solaire. Mémoire de Master en Électrotechnique, Spécialité : Système solaire photovoltaïque. Université Mohamed Khider de Biskra, Faculté des sciences et de la Technologie.
- [30] : Bessemoulin, P., & Oliviéri, J. (2000). Le rayonnement solaire.

- [31] :Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications.
- [32] :Tiwari, G. N., et al. (2016). Solar Energy: Fundamentals, Design, Modelling and Applications
- [33] :Zidane, Yanis, DOUMBIA, Ibrahim ; « Modélisation et simulation d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia.
- [34] :G. Boukettaya, R. Andoulsi, A. Ouali, « Commande vectorielle avec observateur de vitesse d'une pompe asynchrone couplée à un générateur photovoltaïque, article, 2008.
- [35] Batterie-solaire /Batterie-fauteuil-roulant-electrique.

Annexe 1: Paramètres principaux d'une chaise roulante électrique:

Hauteur totale	88 cm
Largeur	
Hauteur	
Largeur	
Profondeur	
Hauteur	
Poids net	
Poids max	
Ø roulette	
Ø roues	
Capacité	
Vitesse max	
Distance	
Puissance moteur	2x200W 24V
Bruit moteur	65 dBA
Batterie	2x12V ou 24V 28 Ah
Autonomie de batterie	20 Km
Alimentation de charge	220 /24 V~ 3.5A

Annexe 2: Paramètres du moteur de la CRE:

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ghardaïa Université de
Faculté des Sciences
et de la technologie

جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الآلية والكهروميكانيك

غرداية في: 2026/06/29

شعبة : طاقات متجددة.
تخصص: طاقات متجددة في الكهروتقني.

شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

أنا الأستاذ: موسى أسامة
بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج ماستر المعنونة ب:

"Commande d'une chaise roulante électrique alimentée par un panneau photovoltaïque (PV)"

من انجاز الطالبة:

رمضاني زهيرة

التي نوقشت بتاريخ: 2026/06/13

أشهد أن الطالبة قد قامت بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة.

إمضاء المسؤول عن التصحيح

مصادقة رئيس القسم

