

***Centre Universitaire Abd Elhafid Boussouf Mila
Département Génie Mécanique et Electromécanique***



***Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du Diplôme de
Master en Electromécanique
Thème***

***Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque en utilisant
un moteur brushless***

Réalisé par :

DJADLI Bouchra & ABBASSI Imane

Devant le Jury :

<i>Mme S. Dib</i>	<i>Professeur</i>	<i>Président</i>
<i>Mr B. Mehimmedetsi</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>
<i>Mr M. BELLA</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>

Année universitaire :

2023 /2024

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH puissant qui nous a donné la force, la patience et la volonté d'accomplir ce travail et de surmonter tous les obstacles auxquels nous avons été confrontés.

Nous tenons ensuite à exprimer notre profonde gratitude au Messieurs l'encadreur Mr BELLA Mourad pour son dirigé et suivi ce travail, nous avoir supervisé et aidé avec ses précieuses idées et conseils.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de de juger notre travail.

Nous tenons également à remercier tout particulièrement notre parents pour leur grand soutien, qu'il soit financier ou moral, tout au long du parcours scolaire.

Enfin de compte, nous ne pouvons pas oublier toutes les personnes qui nous ont encouragés à faire ce travail et à le mener à bien.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail modeste avec tout l'amour et l'appréciation à :
La source de tendresse qui m'a accompagné pas à pas, symbole de la bonté et
l'exemple du dévouement qui ne m'a pas cessé de m'encourager, à ma mère
Ouarda.

Mon bras stable et soutien dans la vie, qui a été mon ombre durant toutes les
années des études, à mon père Farid symbole de don et de lutte.

Que Allah les protège et les gardes.

Ma sœur Nada Errayhane, et mon frère Yahia Abd Enour, qui ont toujours
été à côtés, le bras sur lequel je m'appuie.

Mes frères d'âme que la vie m'a donnés, mes chères amies qui a enlevé
l'amertume des jours et ajouté de la joie à ma vie, dans chaque fois je perds
la passion et m'abandonne, je les retrouve pour inspirant en moi l'esprit de
volonté et l'espoir que je peux le faire, Merci du fond du cœur pour ta
présence dans ma vie.

Ma famille et à tous ceux qui m'ont encouragé tout au long de mon
parcours.

Ma binôme Imane, ma collègue et compagne de travail qui a partagé avec
moi les efforts.

Ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, même avec un mot gentil.

BOUCHRA

Dédicace

Je dédie ce travail à ma famille, en particulier à ma mère, Belaoun Hadjira, qui m'a encouragé jusqu'à ce que j'arrive là où je suis aujourd'hui,

et aussi à mon père Ahmed, qui travaillé dur pour que j'atteigne l'objectif que je souhaitais,

ainsi qu'à mes frères Amine et Mouhammed Ali et mes sœurs Khadidja et Bouchra

et aussi mes oncles, Mouhammed, Nouar, Rabeh ,Riad ainsi que ma chère amie qui m'a rejoint dans ce travail Djadli Bouchra

IMANE

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit au domaine des énergies renouvelables. Aujourd'hui, les chercheurs travaillent à développer davantage ce domaine, notamment les systèmes de pompage d'eau photovoltaïques, où l'utilisation d'un moteur brushless occupe une place importante, car ces systèmes peuvent être installés dans des endroits isolés pour aider à fournir l'énergie requise

Pour cela, nous avons réalisé une modélisation du système de pompage photovoltaïque en utilisant un moteur brushless. Pour améliorer l'efficacité énergétique de ce système, nous avons adopté la simulation afin de maximiser l'énergie fournie par le générateur photovoltaïque.

Enfin, ce mémoire nous a permis de mieux comprendre le pompage photovoltaïque, nous espérons que ce travail sera d'une grande aide dans notre vie professionnelle.

Abstract

The work presented in this thesis falls within the field of renewable energies. Today researchers are working to develop this field further, especially photovoltaic water pumping systems, where the use of a brushless motor occupies an important place. This topic is modern and interesting, as these systems can be installed in isolated places to help provide required energy.

For this we carried out modeling of a photovoltaic pumping system using a brushless motor, to improve the energy efficiency of this system we adopted the simulation in order to maximize the power provided by the photovoltaic generator.

Finally, this thesis allowed us to understand photovoltaic pumping better, and we hope this work will be very useful in our professional lives.

ملخص

يندرج العمل المقدم في هذه الأطروحة ضمن مجال الطاقات المتجددة، فالباحثون اليوم يعملون على تطوير هذا المجال أكثر خاصة أنظمة ضخ المياه الكهروضوئية، حيث يحتل استخدام محرك دون فرش مكانة مهمة، وهذا الموضوع حديث ومثير للاهتمام حيث يمكن تركيب هذه الانظمة في الأماكن المعزولة للمساعدة في توفير الطاقة المطلوبة .

من أجل هذا قمنا بإجراء نمذجة لنظام الضخ الكهروضوئي باستخدام محرك بدون فرش، لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في هذا النظام اعتمدنا المحاكاة ، من أجل تعظيم الطاقة التي يوفرها المولد الكهروضوئي.

أخيرا أتاحت لنا هذه الأطروحة فهم الضخ الكهروضوئي بشكل افضل، ونأمل أن يكون هذا العمل مفيدا جدا في حياتنا المهنية.

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	IV
Introduction générale.....	1
<u>CHAPITRE I : L'énergie Solaire Photovoltaïque</u>	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Energie solaire photovoltaïque.....	3
I.3. Historique sur l'énergie solaire photovoltaïque.....	4
I.4. Le principe de fonctionnement.....	5
I.5. Les type des cellules photovoltaïques.....	6
I.5.1. La cellule PV en silicium monocristallin.....	6
I.5.2. cellule en silicium poly-cristalline.....	7
I.5.3. cellule en silicium amorphes.....	7
I.5.4.Cellule Tandem.....	8
I.5.5.Cellule multi-jonction.....	8
.Comparaison des quelque principales technologies de cellules.....	9
I.6. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	10
I.7. Câblage des cellules photovoltaïque.....	11
I.8. Modèle électrique d'une cellule PV.....	12
I.8.1. Modèle à une diode.....	12
I.8.2. Modèle à deux diodes.....	12

Sommaire

I.8.3. Modèle en puissance.....	13
I.8.4. Modèle explicite du module PV.....	14
I.9. Le rayonnement solaire.....	14
I.10. Générateur photovoltaïque.....	15
I.11. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire PV.....	16
I.11.1. Les avantages de photovoltaïque.....	16
I.11.2. Les inconvénients de photovoltaïque.....	16
I.12. conclusion.....	17

CHAPITRE II: Généralités Sur Les Moteurs Eléctriques

II.1.Introduction	18
II.2.Principaux composants des moteurs électriques.....	18
II.3. Fonctionnement.....	20
II.4. Utilisations des moteurs électriques.....	20
II.5.Types des moteursélectriques.....	20
II.5.1. Moteur à courant continu DC.....	21
II.5.2. Moteur à courant alternative AC	21
II.5.3. Moteur asynchrone.....	21
II.5.4. Moteur synchrone.....	22
II.5.5. Moteur pas à pas.....	22
II.5.6. Moteur universel.....	22

Sommaire

II.6. Moteur Brushless BLDC (sans balais)	23
II.6.1. Définition.....	23
II.6.2. Constitution de moteur brushless.....	23
II.6.3. La commutation électrique.....	24
II.6.3.A.La commutation en bloc avec capteurs effet hall.....	25
II.6.3.B.La commutation sans capteur.....	25
II.7. Principe de fonctionnement	26
II.8. Démarrage d'un moteur brushless	26
II.9. Caractéristiques	26
II.10.Domaine D'utilisation	27
II.11.Types de moteurs BLDC	27
II.11.1.Moteurs brushless outrunner.....	27
II.11.2.Moteurs brushless inrunner.....	28
II.11.3.Moteurs brushless à disques.....	29
II.12. Model mathématique	29
II.12.1.Les équations électriques.....	29
II.12.2.Équations mécaniques.....	33
II.13. Avantages et inconvénients	33
II.13.1.Les avantages du moteur brushless.....	33
II.13.2. Les inconvénients de BLDC.....	34
II.14. Conclusion	35
<u>CHAPITRE III:Généralités Sur Les Pompes</u>	
III.1. Introduction	36
III.2. Historique	36

Sommaire

III.3. Les composants des pompes.....	38
III.4. Principe de fonctionnement.....	39
III.5. Les différents types des pompes.....	39
III.5.1 Pompes centrifuges.....	40
III.5.2 Pompe volumétrique.....	40
III.5.3.Les pompes à piston.....	41
III.5.4.Les pompes rotatives.....	41
III.6. la pompe d'eau.....	42
III.7. Fonctionnement de pompe d'eau.....	42
III.8. Utilisation de la pompe d'eau	43
III.9. Types des pompes d'eau.....	43
III.9.1 Pompe de suppression d'eau.....	43
III.9.2 La pompe de surface.....	44
III.10. Les avantages et les inconvénients.....	44
III.10.1. Les avantages des pompes.....	44
III.10.2. Les inconvénients des pompes.....	45
III.11. Conclusion.....	45

CHAPITRE IV : Interprétation Et Résultats

IV.1. Introduction.....	46
IV.2.Simulation du moteur BLDC.....	46
IV.3.Simulation de photovoltaïque.....	48
IV.4.Simulation de système globale.....	50
IV.5.Intérpretation des résultats.....	53
IV.6.Conclusion.....	54

Sommaire

Conclusion générale.....55

Référence.....56

Liste des figures et des Tableau

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Système photovoltaïque.....	4
Figure I.2 : Le principe de la cellule photovoltaïque.....	6
Figure I.3 : Cellules monocristallines.....	6
Figure I.4 : Cellule polo-cristalline.....	7
Figure I.5 : Cellule en silicium amorphes.....	8
Figure I.6: Cellule Tandem.....	8
Figure I.7: Cellule multi-jonction.....	9
Figure I.8 : Schéma équivalent de cellule PV.....	10
Figure I.9: Câblage des cellules photovoltaïque.....	11
Figure I.10 : schéma électrique équivalent du modèle à une diode.....	12
Figure I.11 : schéma électrique équivalent du modèle à deux diodes.....	13
Figure I.12 : le rayonnement solaire	14
Figure I.13 : Composants d'un GPV.....	15

Chapitre II :

Figure. II.1 : La constitution d'un moteur.....	19
Figure. II.2 : Éclaté d'un roulement à billes.....	19
Figure II.3 : Vue éclatée d'une machine tournante.....	19

Liste des figures et des Tableau

Figure II.4 : Moteur à courant continu.....	21
Figure II.5 : Moteur à courant alternatif.....	21
Figure II.6 : Moteur asynchrone.....	21
Figure II.7 : Moteur synchrone.....	22
Figure II.8 : Moteur pas à pas	22
Figure II.9 : Moteur universel	22
Figure II.10 : La constitution du moteur BLDC.....	23
Figure II.11 : Commutation électrique.....	24
Figure II.12 : Commutation en bloc.....	25
Figure II.13 : Commutation sans capteur.....	25
Figure II.14 : Moteur brushless outrunner.....	27
Figure II .15 : Moteur brushless inrunner.....	28
Figure II.16 : Moteur brushles à disque.....	29
Figure II.17 : bloc représente les équations életriques.....	31
Figure II.18 : bloc représente le couple électrique	32
Figure II.19 :bloc représente Equations mécaniques.....	33
<u>Chapitre III</u> :	
Figure III.1 : Une pompe ancient ^{1er} siècle av. J.-C.....	37
Figure III.2 : Une pompe moderne.....	38
Figure III.3 : Composants des pompes.....	39
Figure III.4 : Une pompe centrifuge.....	40
Figure III.5 : Une pompe volumétrique.....	40
Figure III.6 : Une pompe à piston.....	41

Liste des figures et des Tableau

Figure III.7 : Une pompe rotative.....	41
Figure III.8 : Pompe d'eau.....	42
Figure III.9 : Pompe de suppression d'eau.....	43
Figure III.10 : Pompe de surface.....	44
<u>Chapitre IV :</u>	
Figure IV.1 : Schéma de moteur BLDC.....	46
Figure IV.2 : Courbe de tension.....	47
Figure IV.3 : Courbe du courant.....	47
Figure IV.4 : Courbe du force electromotrice.....	47
Figure IV.5 : Courbe du couple électromagnétique.....	48
Figure IV.6 : Schéma de photovoltaïque.....	48
Figure IV.7 : Courbe de tension.....	49
Figure IV.8 : Courbe de puissance.....	49
Figure IV.9 : Courbe du courant.....	49
Figure IV.10 : Schéma de système globale.....	50
Figure IV.11 : Courbe du courant de PV array.....	51
Figure IV.12 : Courbe de de puissance de PV array.....	51
Figure IV.13 : Courbe de tension.....	52
Figure IV.14 : Courbe du couple.....	52
Figure IV.15 : Courbe du courant.....	53

Liste des figures et des Tableau

Liste des Tableau

Chapitre I :

Tableau I.1: Comparaison des quelque principales technologies de cellules...9

Introduction général

Introduction générale

Introduction générale

Si on vérifie les sources d'énergie consommées aujourd'hui, nous constaterons que la plus part d'entre, elles sont d'origine fossile, c'est-à-dire qu'il s'agit d'énergies non renouvelables qui peuvent s'épuiser à tout moment, mais qui ont de graves effets sur l'environnement. Il a donc fallu rechercher des alternatives à cette énergie en exploitant les énergies naturelles (énergie éolienne, énergie solaire, énergie photovoltaïque...), car elle est considérée comme une excellente solution alternative, elle est aussi gratuite, non épuisée et également propre pour l'environnement [1].

Parmi ces sources, on note la plus utilisée qui est l'énergie solaire photovoltaïque, étant donné que le soleil est présent partout sous une forme renouvelable et que sa contribution relative peut couvrir les besoins énergétiques de la plus part des pays. Le pompage PV est largement utilisé dans les zones isolées, cela représente une solution efficace en absence de réseau [2].

Cependant, plusieurs problèmes résultants ont été observées, notamment une perte d'énergie pour tenter de répondre à ces problèmes et améliorer la production et ainsi réduire les pertes, de nombreuses solutions ont été proposées comme « optimisation d'un système de pompage photovoltaïque à base d'un moteur synchrone » aussi « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adopté par la commande MPPT ». Cela nous a ouvert la voie dans notre travail, nous avons adopté une nouvelle solution, qui est la modélisation d'un système de pompage PV en utilisant un moteur brushless. Donc notre travail se concentre sur la résolution de ces problèmes, l'amélioration de la production d'énergie et son utilisation, la réduction de la quantité de perte d'énergie, comme nous avons choisi un outil de simulation très performant et pratique qui est logiciel MATLAB.

La présent mémoire est rédigé en quatre chapitres :

Nous avons consacré le premier chapitre à l'étude des concepts énergétiques généraux et du principe de fonctionnement de la cellule PV au silicium, ainsi que des différents types de cellule, puis nous avons abordé le schéma électrique équivalent à cette cellule. Enfin, nous avons évoqué le modèle électrique sans oublier de parler du générateur électrique.

Introduction générale

Dans la deuxième chapitre, nous présenterons quelque informations sur les moteurs électriques, leurs utilisations et leurs fonctions les plus importantes. Nous parlerons aussi spécifiquement du moteur brushless. De sa définition et de ses composants, son utilisation pour conclure le chapitre avec ses sections, quelques points de ses avantages et inconvénients.

Le troisième chapitre traitait généralement de tout ce qui concernait les pompes, notamment la pompe à eau car c'est celle utilisée lors de notre modélisation du système abordé dans ce travail.

Dans le dernier chapitre, nous avons modélisé un système de pompage PV avec un moteur brushless.

Enfin on termine par une conclusion générale.

Chapitre I

L'énergie Solaire Photovoltaïque

I.1. Introduction

Aujourd'hui, avec le développement technologique remarquable que connaît le monde, nous avons également besoin d'une augmentation de l'énergie pour suivre ce progrès, en particulier dans les zones d'ombre, où dites zones d'ombre, où l'utilisation des ressources traditionnelles est très coûteuse, et la plus part des sources d'énergie consommées aujourd'hui proviennent des énergies fossiles, comme le pétrole, le charbon et l'énergie nucléaire. Ces sources ne sont pas garanties car les dernières études ont prouvé que leur utilisation intensive conduirait à leur épuisement complet, sans parler de leur épuisement complet, et leurs risques pour l'environnement. Il a donc fallu rechercher des sources alternatives, renouvelables et inépuisables, comme l'énergie photovoltaïque [1].

Dont les coûts d'exploitation sont relativement faibles ; grâce au générateur photovoltaïque qui ne comprend pas des pièces mobiles, ce qui signifie qu'il ne nécessite pas beaucoup d'entretien, c'est pourquoi elle est considérée comme la source d'énergie la plus appropriée pour les zones où la répartition de la demande énergétique est relativement faible [2].

Dans ce chapitre, on fait en premier lieu une généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque, son utilisation et les caractéristiques principales du générateur PV. En second lieu il expose en générale le principe de fonctionnement et classification de systèmes photovoltaïque, et un aperçu des différents types de cette système sera donné son comptage, les avantages et les inconvénients.

I.2. Energie solaire photovoltaïque

Lorsque l'énergie est convertie des photons contenus dans le rayonnement lumineuse (solaire ou autre) en énergie électrique, elle produit de l'énergie appelée énergie solaire photovoltaïque (PV) [2], où cela se fait en fournissant du courant continue qui peut utiliser de deux manières, soit directement pour faire fonctionner les appareils désignés à cet effet, soit indirectement et donc alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur [3].

Pour définir le mot « photovoltaïque », ça vient du grec « photo » qui signifie lumière et de « voltaïque » qui tire son origine du nom d'un physicien italien ALESSMDRO

VOLTA (1754-1827) qui beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la lumière électricité [1].



Figure I.1 : Système photovoltaïque

Cette image (figure I.1) montre les éléments les plus importants qui doivent être présents car ils jouent un rôle efficace dans le système photovoltaïque, et comment les relier entre eux.

I.3. Historique sur l'énergie solaire photovoltaïque

En 1839, le français Alexandre Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque pour la première fois.

1883 : Charles Fritts a fait la première conception de cellule photovoltaïque véritable avec rendement de $\approx 1\%$.

1905 : Einstein a expliqué l'effet photovoltaïque.

1954 : Trois chercheurs américains, à travers leurs laboratoires, Chaplin, Fuller et Pearson ont réalisé la première cellule en Si avec rendement de 5%.

1959 : Première application spatiales, un satellite scientifique American fourni avec des modules PV.

Années 1980 : Développement de la technologie PV terrestre et aussi la première cellules couches minces et commercialisation de modules a Si.

Années 1990 : Les premières cellules organiques et hybrides sont apparues, et la qualité du silicium solaire a également été développée.

Cela s'est également produit avec secteur de l'industrie PV, qui a connu une croissance (Allemand, Japon,...).

Années 2000 : Améliorer les méthodes de production et diversifier l'offre de modules /technologies.

Le secteur s'est également intensifié en France.[4]

I.4. Le principe de fonctionnement

La présence de l'effet photovoltaïque dans les cellules solaires permet de convertir l'énergie lumineuse du soleil en électricité en produisant et en transférant des charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière (énergie renouvelable).

Ce dernier se compose de deux parties principales, dont l'une est connu sous le nom dopée de type N, car elle contient un excès d'électrons, tandis que la seconde souffre d'un manque d'électrons et est appelée dopée type P. Lorsqu'un contact se produit entre elles, l'excès d'électrons de N sont transférés vers P, ce qui crée un champ électrique qui forme une jonction p-N.

Cependant, Lorsque le photon incident interagit avec les électrons du matériau, il lui transfère son énergie potentielle de sorte que l'électron se libère de sa bande de valence et fait face au champ électrique qui l'aide à migrer vers la force supérieure, laissant place à un photon incident écart pour migrer vers le bas.

Les électrons situés en haut et en bas sont l'endroit où les électrons sont collectés et effectuent un travail électrique, atteignant finalement le trou de la cellule [5]. Comme nous montre la figure ci-dessous :

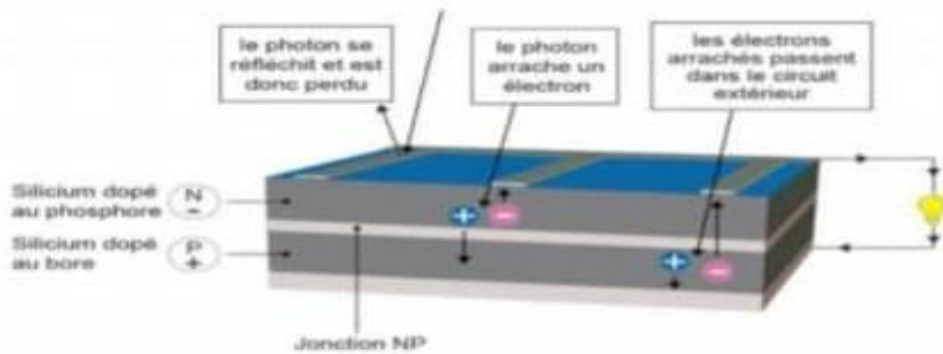


Figure I.2 : Le principe de la cellule photovoltaïque

I.5. Les type des cellules photovoltaïques

Il existe différents plusieurs de cellules PV, chacune ayant son propre rendement et un coût. Malgré cette différence sa production reste très faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elle reçoit.

Il existe cinq principaux type de cellules à l'heure actuelle et sont [6] :

I.5.1. La cellule PV en silicium monocristallin

Le silicium cristallin est le plus connu pour les cellules commerciales, bien que nombreux soient ceux dans lesquels tous les atomes du matériau photovoltaïque actif sont considérés comme faisant partie d'une structure cristalline simple car il n'y a pas de désordre dans la disposition des atomes [7]. La figure suivante montre une cellule monocristalline.

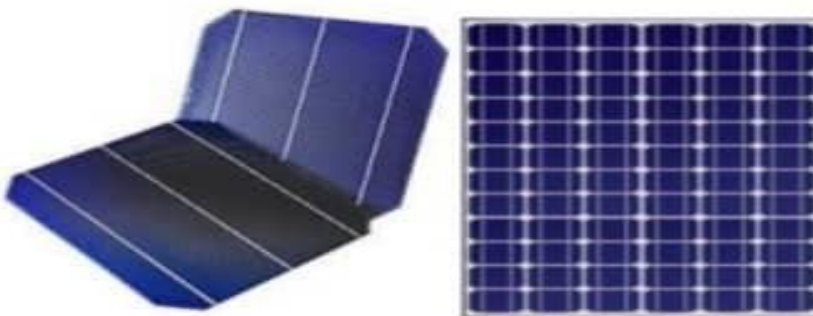


Figure I.3 : Cellules monocristallines

I.5.2. cellule en silicium poly-cristalline

Pour obtenir du silicium poly-cristallin, on fait fondre le silicium dans un moule métallique carré et allongé appelé lingotière dans lequel il y a un refroidissement lent pendant plusieurs heures [8].

Il y a une caractéristique qui le rend facile à identifier ce type, à savoir que sa couleur est bleu et parsemé de motifs laissés par les cristaux [9], La figure ci-dessous montre ce qui a été mentionné ci-dessus.



Figure I.4 : Cellule poly-cristalline

I.5.3. cellule en silicium amorphes:

Une cellule PV en silicium amorphe est essentiellement constituée d'une fine couche de silicium, bien plus fine que celle des cellules monocristallines ou poly-cristallines, et elle est principalement utilisée pour alimenter des appareils de faible consommation, comme les montres solaires ou encore l'éclairage de jardin.

Le silicium amorphe est obtenu à partir de silicium gazeux. Le gaz de silicium est évaporé sur un support en verre, en plastique flexible ou même en métal grâce au procédé de chute sous vide quant à la couleur de ces cellules PV, elle est gris foncé [9]. Un silicium amorphe est montré dans la figure suivante :

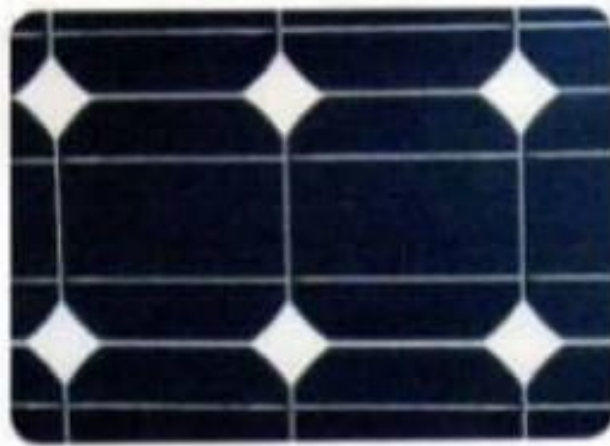


Figure I.5 : Cellule en silicium amorphes

I.5.4. Cellule Tandem:

Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin par exemple) absorbantes dans des domaines spectraux se chevauchant, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines.[1]



Figure I.6: Cellule Tandem

I.5.5. Cellule multi-jonction:

Des cellules ayant une grande efficacité ont été développées pour des applications spatiales. Les cellules multi-jonctions sont constituées de plusieurs couches minces. Chaque type de semi-conducteur est caractérisé par une longueur d'onde maximal de la quelle il est

incapable de convertir le photon en énergie électrique .D'un autre coté en deçà de cette longueur d'onde, le surplus d'énergie véhiculé par le photon est perdu . D'où l'intérêt de choisir des matériaux avec des longueurs aussi proches les unes des autres que possible (en multipliant leur nombre d'autant) de manière à ce qu'une majorité du spectre solaire soit absorbé , ce qui génère un maximum d'électricité à partir du flux solaire.[1]



Figure I.7: Cellule multi-jonction

● **Comparaison des quelque principales technologies de cellules**

Le tableau suivant montre une petite comparaison entre quelque types de cellule qui nous avons parlé précédemment :

Technologies de cellules		Monocristallin	Poly-cristallin	Amorphe
caractéristiques	Rendement	Très bon rendement 14 à 20%	Bon rendement 11 à 15%	Rendement faible 5 à 9%
	Durée de vie	Importante (30 ans)	Importante (30 ans)	Assez importante (20 ans)
	Part de marché	43%	47%	10%

	Puissance	100 à 150 Wc/m^2 $7 m^2/KWc$	100 Wc/m^2 $8 m^2/KWc$	50 Wc/m^2 $16 m^2/KWc$
	Coût de fabrication	Elevé	Meilleur marché que les panneaux monocristallin	Peu onéreux par rapport aux autres technologies
	Eclairement	Faible rendement sous un faible éclairement	Faible rendement sous un faible éclairement	Fonctionnement correct avec un éclairement faible

Tableau I.1: Comparaison des quelques principales technologies de cellules

I.6. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement d'une cellule solaire peut être modélisé par le circuit électrique équivalent ci-dessous (figure I.6.), qui comprend une source de courant généré par des photons et une diode en parallèle formant une jonction (P-N). Il existe également deux résistances, dont l'une représente les pertes de résistance qui est connu sous le nom R_s , et l'autre représente les courants de fuites qui court-circuitent la liaison est appelé R_{sh} [10].

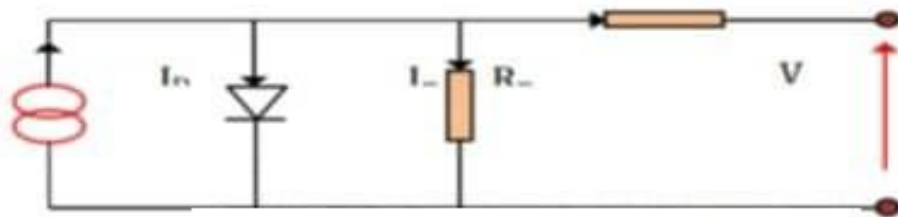


Figure I.8: Schéma équivalent de cellule PV

L'équation reliant le courant délivré par un module PV et la tension a ces bornes est donné par [3]:

$$I = I_{ph} - I_{od} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_s \cdot I)}{K \cdot T_j}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}}$$

$$I_d = I_{od} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_s \cdot I)}{K \cdot T_j}} - 1 \right)$$

Avec :

- I_{ph} : Photo-courant ou courant généré par l'éclairement (A)
- I_{od} : Courant de la saturation de la diode (A)
- R_s : Résistance série Ω
- R_{sh} : Résistance shunt Ω
- k : Constante de Boltzmann ($k = 1.38 \cdot 10^{-23} (SI)$)
- q : Charge de l'électron ($q = 1.602 \cdot 10^{-19} (C)$)
- T_j : Température de la cellule ($^{\circ}K$)

I.7. Câblage des cellules photovoltaïque:

Les cellules photovoltaïques sont reliées entre elles par de fines bandes métalliques en cuivre étamé. Cela commence de la partie avant de la connexion (-) jusqu'à la partie arrière de la connexion (+).

Pour plus de précisions, nous présentons cette figure qui montre comment les cellules sont connectées aux bandes de cuivre [8] :



Figure I.9 : Câblage des cellules photovoltaïque

I.8. Modèle électrique d'une cellule PV

Au fil des années, de nombreux modèles mathématiques ont été développés pour les générateurs photovoltaïques afin d'obtenir la caractéristique courant-tension, afin d'étudier les performances des systèmes PV (à partir de l'analyse et de l'évaluation) ces modèles diffèrent par le nombre de paramètres pris en compte. [11]

I.8.1. Modèle à une diode

Le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque est constitué d'une source de courant qui convertit shunt (R_{sh}), qui est le résultat de la longueur de la circonférence à la surface de la cellule, d'une résistance série R et d'une diode en parallèle.

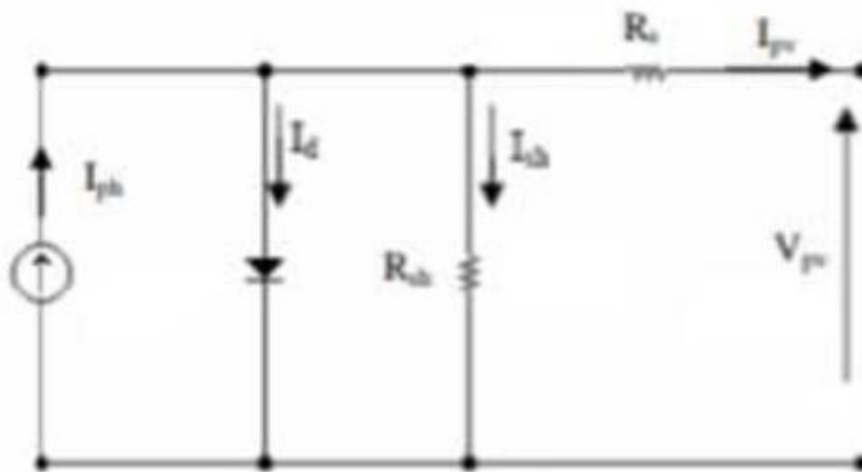


Figure I.10 : schéma électrique équivalent du modèle à une diode.

I.8.2. Modèle à deux diodes

Cette modèle comprend deux diodes pour représenter le phénomène de polarisation dans la jonction PN, qui symbolise la recombinaison des porteurs minoritaires à la surface du matériau ainsi que sa taille. Le schéma électrique suivant montre l'unité photovoltaïque à deux diodes.

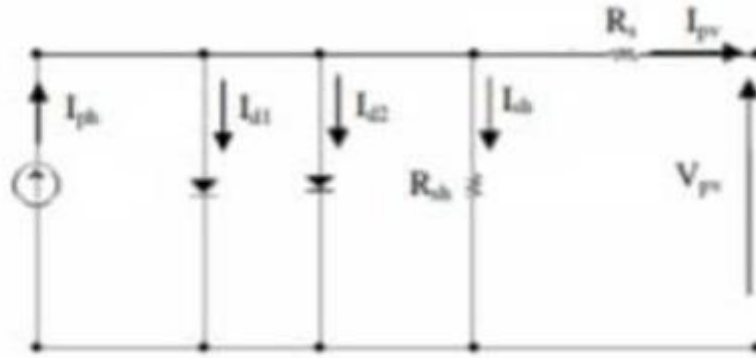


Figure I.11 : schéma électrique équivalent du modèle à deux diodes.

I.8.3. Modèle en puissance:

Il s'agit des modèles simplifiés de la puissance maximale générée par la cellule PV, ces modèles concernent le rayonnement solaire absorbé par la cellule PV et sa température, on distingue deux modèles :

- a. Modèle 1 :** appelé modèle de Benchmark, donne la quantité maximale d'énergie générée par cellule PV pour une certaine quantité de température et d'ensoleillement avec quatre paramètres positifs fixes A, B, C et D.

$$P_{pv_{max}} = (AG + B)T_j + CG + D$$

- b. Modèle 2 :** permet de calculer l'énergie produite par le paramètre suivant :

$$P_{PV} = \eta \cdot A \cdot N \cdot G$$

Avec :

A : La surface du module photovoltaïque (m^2)

G : L'irradiation solaire sur un plan incliné (W/m^2)

N : Le nombre des modules constituant le module photovoltaïque.

η : Le rendement instantané donné par l'équation suivante :

$$\eta = \eta_r (1 - \gamma \cdot (T_c - T_{stc}))$$

η_r : Le rendement de référence de module sous les conditions STC

γ : Représente un coefficient de température, d'incrément du rendement quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($A/^{\circ}C$) (sous les conditions STC)

I.8.4. Modèle explicite du module PV:

Ce modèle contient essentiellement 5 paramètres qui correspondent à l'évolution du courant et de la tension en fonction des conditions climatiques.

I.9. Le rayonnement solaire:

L'énergie du soleil est transmise sous forme de rayonnement dans l'espace de manière uniforme et dans toutes les directions. Le flux reçu par la terre est inférieur aux flux initiaux c'est à cause de son absorption par le gaz atmosphérique et la vapeur d'eau, alors le flux reçu dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversé. On peut diviser cette première de l'énergie solaire en trois parties ou rayonnements (figure. I.12):

- **Le rayonnement direct:** les rayons du soleil qui nous parviennent en ligne droite .
- **Le rayonnement diffus:** les rayons qui subissent de multiples réflexions et nous parviennent alors de toutes les directions à travers les nuages. Le rayonnement solaire est entièrement diffus lorsqu'on ne peut plus voir où se trouve le soleil.
- **Le rayonnement réfléchi:** Le rayonnement qui est réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à la surface.
- **Le rayonnement global:** c'est la somme du rayonnement direct et le rayonnement diffus.[1]

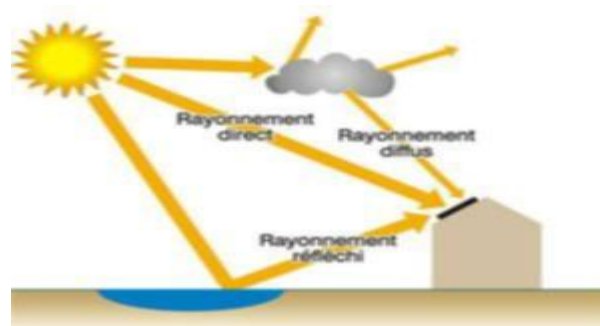


Figure I.12 : Le rayonnement solaire

I.10. Générateur photovoltaïque:

Les unités photovoltaïques sont un groupe de cellule placées en rangée, dont le rôle principale est de convertir la lumière du soleil en électricité cela a été discuté car la cellule PV constitue un générateur faible qui ne peut pas répondre à tous les besoins, il a donc fallu trouver un moyen de le faire augmenter la production d'énergie en collectant plusieurs cellules pour créer une unité PV est la meilleure solution.

Cette connexion est en parallèle (N_p) pour augmenter le courant en série (N_s) pour augmenter la tension de fonctionnement, et elle transporte généralement du 12V. Cependant, ces cellules doivent être protégées des agressions extérieures en les recouvrant [12].

Le point de fonctionnement du générateur PV est caractérisé par :

$$I_{GPV} = N_p * I_{PV}$$

$$V_{GPV} = N_s * V_{PV}$$

I_{GPV}, V_{GPV} : Sont le courant et la tension du générateur photovoltaïque

N_p, N_s : Sont les nombre en parallèle et en série des module.

Les Composants d'un Générateur photovoltaïque sont montrés dans La figure suivante :

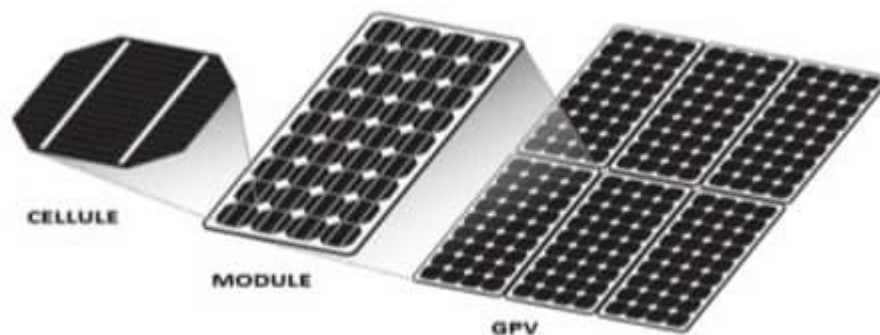


Figure I.13 : Composants d'un GPV

I.11. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire PV

L'énergie solaire PV a des avantages et des inconvénients. Par la suite, on évoque quelque avantage et inconvénients [11] :

I.11.1. Les avantages de photovoltaïque

- ✓ La production de cette énergie est propre, car elle ne dégage pas de gaz toxiques et ne laisse aucuns déchets.
- ✓ Cela aide grandement à réduire les pannes de courant constantes, car il génère l'énergie requise
- ✓ Energie renouvelable et gratuit
- ✓ L'énergie peut être utilisée partout, même dans les grandes villes grâce à son fonctionnement silencieux.
- ✓ Il contribue au progrès de l'économie et contribue à générer des revenus importants en vendant les surplus de production
- ✓ La longue vie de l'installation

I.11.2. Les inconvénients de photovoltaïque

- ✓ La fabrication d'un module PV dépend de la haute technologie et nécessite d'investissement coûteux et beaucoup de recherche.
- ✓ Le stockage de l'énergie pose encore de nombreux défis, car le rendement des panneaux photovoltaïque est faible et nécessite un système de secours tel que des batteries, notamment pour les installations domestique.

I.12. conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des informations générales sur l'énergie solaire photovoltaïque, sa définition, son historique, ainsi que son principe de fonctionnement. Nous avons également abordés les types d'énergie photovoltaïque les plus importants.

Ensuite, nous avons présenté un schéma équivalent et un câblage pour cette cellule avec une explication simplifiée.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons parlé brièvement de ce qu'est un générateur photovoltaïque, et nous avons terminé ce chapitre en évoquant quelques avantages et inconvénients de l'énergie solaire PV.

Chapitre II

Généralités sur Les Moteurs Eléctrique

II.1.Introduction :

Dans ce chapitre en fait des études sur les moteurs électriques en générale et puis sur le moteur brushless. Les moteurs électriques ce sont des dispositifs électromécaniques qui permettent de convertir l'énergie électrique en énergie magnétique et enfin en énergie mécanique. L'électromagnétisme est à la base du fonctionnement des moteurs électriques en génèrent les forces magnétiques nécessaires pour produire un mouvement de rotation ou linéaire. Pour les moteurs électriques rotatifs, c'est l'interaction entre les champs magnétiques du stator et du rotor qui crée le couple moteur pour entraîner les charges externes.

Aujourd'hui, les moteurs électriques sont disponibles dans une grande variété de types, de tailles, de caractéristiques de fonctionnement et de configurations pour s'adapter à différentes applications. Ils sont utilisés presque partout dans le monde, notamment dans les entraînements industriels, les appareils électroménagers, les dispositifs médicaux, les produits électroniques, les robots, les véhicules électriques, les machines-outils, les vaisseaux spatiaux et les équipements militaires.la fabrication de moteurs électriques représente environ 45% de la consommation mondiale totale d'électricité. Dans le monde de l'industrie il y a plusieurs types de moteurs qui se sont : moteur à courant continu (MCC), moteur a courant alternative, moteurs asynchrones (MAS), moteurs synchrones, moteurs pas à pas, moteurs spéciaux, moteurs universels, moteurs brushless (BLDC) etc. [13]

II.2.Principaux composants des moteurs électriques :

Les machines tournantes peuvent se décomposer, du point de vue mécanique, en quatre parties distinctes :

- **Le stator** : partie fixe de la machine ou est connectée l'alimentation électrique.
- **Le rotor** : partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique

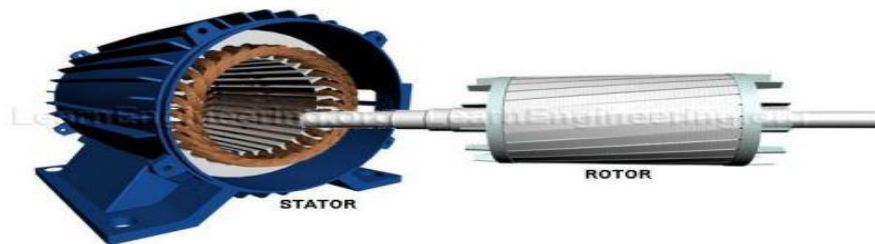


Figure II.1 : La constitution d'un moteur

- **Les paliers/Roulements** ; partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur pour les roulements, ils sont des pièces de précision fabriquées avec soin, il faut donc les manipuler avec précaution..

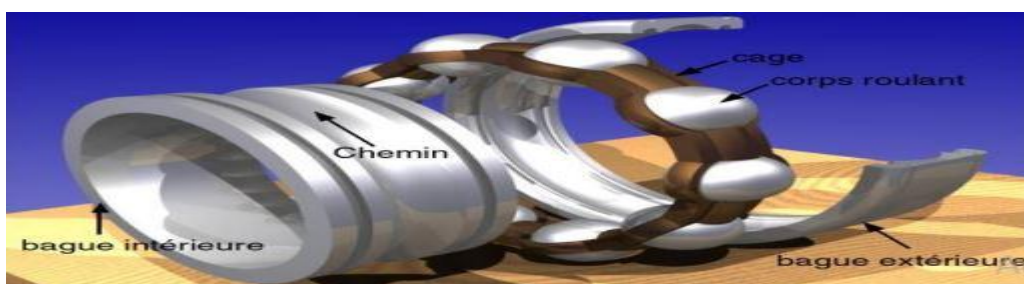


Figure II.2 : Éclaté d'un roulement à billes.

- **L'arbre** : organe de transmission du mouvement de rotation. Il comprend :
 - une partie centrale qui sert de support au corps du rotor, au circuit magnétique et aux enroulements tournants ;
 - en général, un bout d'arbre sur lequel est fixé le demi-accouplement reliant la machine électrique à la machine mécanique.

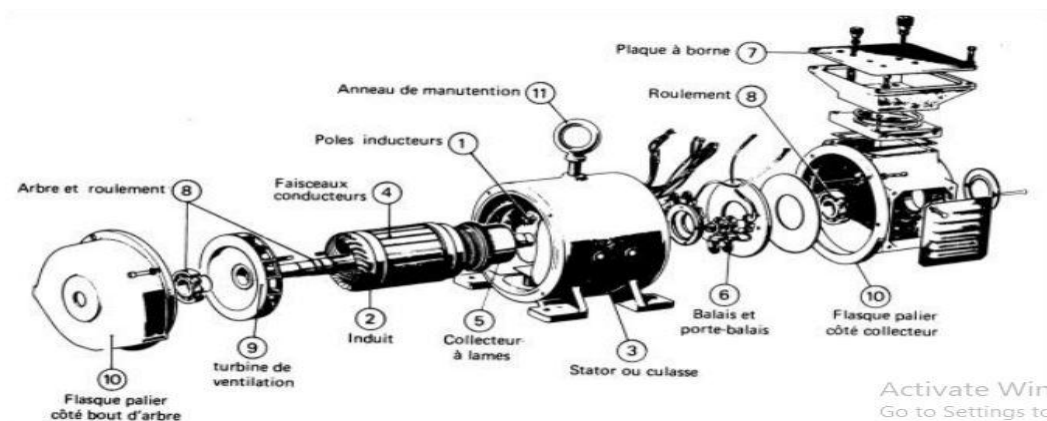


Figure II.3 : Vue éclatée d'une machine tournante

La partie active d'une machine est formée d'un ensemble de conducteurs chargé de véhiculer les courants, et d'un circuit magnétique dont les fonctions principales sont la canalisation des lignes d'induction magnétiques, le maintien des conducteurs et la conduction thermique des conducteurs vers les zones de refroidissement (canaux de ventilation, entrefer).

II.3. Fonctionnement

Les moteurs électriques fonctionnent selon un principe très simple. Selon l'hyperphysique, lorsqu'un courant électrique est introduit dans un champ magnétique, une force est générée. Un moteur électrique utilise des fils en boucle (les mêmes fils qui transportent le courant) qui sont placés perpendiculairement au champ magnétique du moteur électrique. Le champ magnétique ayant deux polarités, chaque extrémité des fils est déplacée dans une direction différente. Cela crée un mouvement de rotation.

Le couple est contrôlé en ajoutant plusieurs boucles aux induits et le champ magnétique est produit par un électro-aimant, Cette conception permet au rotor de tourner par une simple force électromécanique, il y a très peu de pièces qui subissent réellement une usure et, avec ces deux facteurs combinés, il est possible pour les moteurs électriques de continuer à fonctionner pendant une durée incroyablement longue tout en présentant très peu d'usure. [14]

II.4. Utilisations des moteurs électriques :

Les moteurs électriques peuvent être utilisés dans une vaste gamme d'applications, directement dans la maison. Par exemple, chaque ventilateur d'une maison contient probablement un moteur électrique qui propulse les pales, convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique et l'énergie mécanique des pales en une brise qui fait circuler l'air dans la pièce. Les moteurs électriques peuvent également être utilisés dans les outils électriques. Ils alimentent le foret des perceuses, la lame des scies circulaires et bien plus encore. Leur longévité et leur durabilité en font d'excellentes solutions à ce besoin, même dans les utilisations industrielles lourdes et utilisés dans la plupart des stations de pompage, et aussi dans les très grands navires.[15]

II.5.Types des moteursélectriques :

Il y a plusieurs types des moteurs électriques dans l'industrie :

II.5.1. Moteur à courant continu DC :

Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique.



Figure II.4 : Moteur à courant continu

II.5.2. Moteur à courant alternatif AC :

Un moteur à courant alternatif (AC) est un moteur électrique alimenté en courant alternatif. Il convertit l'électricité en travail mécanique rotatif grâce à l'interaction des champs magnétiques du stator et du rotor.



Figure II.5 : Moteur à courant alternatif

II.5.3. Moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'industrie. Il s'agit d'un moteur robuste, éprouvé, fiable, doté d'un bon rendement.



Figure II.6 : Moteur asynchrone

II.5.4. Moteur synchrone :

Le moteur synchrone est un moteur à courant alternatif dans lesquels à l'état d'équilibre, la rotation de l'arbre est synchronisée avec la fréquence du courant appliqué.



Figure II.7 : Moteur synchrone

II.5.5. Moteur pas à pas :

Il est utilisé pour offrir une révolution d'angle de pas comme alternative à une révolution stable.



Figure II.8 : Moteur pas à pas

II.5.6. Moteur universel :

Le moteur électrique universel, également appelée moteur à courant alternatif universel, Il est capable de fonctionner avec à la fois du courant alternatif (AC) et du courant continu (DC). [16]



Figure II.9 : Moteur universel

- Le dernier type de moteur c'est le moteur Brushless (sans balais), qui est le but de notre travail .

II.6. Moteur Brushless BLDC (sans balais) :

II.6.1. Définition:

Le moteur «brushless », moteur sans balais, tire son nom par opposition au moteur à courant continu qui dispose de bobinages sur le rotor et nécessite un collecteur pour alimenter ces bobinages. Ce collecteur est un point faible du moteur à courant continu : pertes énergétiques (mécaniques et électriques), usure, etc.+ Le moteur (BLDC) est également appelé moteur à commutation électronique. Est un moteur synchrone à aimants permanents, générant une onde de force contre-électromotrice unique, ce qui lui permet de se comporter de façon similaire à un moteur DC à balais traditionnel. C'est le choix idéal pour les applications nécessitant une grande fiabilité, un haut rendement et un très bon rapport puissance /volume. En général, un moteur BLDC est considéré comme un moteur 1de haute performance, capable de fournir un couple élevé sur une plage de vitesse.[17]

II.6.2. Constitution de moteur brushless :

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



Figure II.10 : La constitution du moteur BLDC

Le moteur brushless est composé :

- D'un stator :

C'est un empilement de tôles statoriques qui évitent l'établissement d'un courant de Foucault dans le corps du moteur. Elles sont associées au bobinage du moteur triphasé connecté en étoile ou en triangle.

- **D'un rotor :** Le rotor est constitué de l'axe moteur, de l'aimant à 1 ou plusieurs paires de pôles et de disques d'équilibrage. Les aimants du rotor du moteur à commutation électronique EC sont en ferrite, en samarium cobalt (SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) et Néodyme ferbore NdFeB . Le rotor peut être soit à aimants déposés, soit à concentration de flux ; cette seconde conception étant réalisée avec un volume d'aimants plus faible.
- **Les paliers :** Ils sont le seul lien mécanique entre le stator et le rotor. La durée de vie de l'ensemble en dépend. Ces roulements à billes pré chargées permettent d'obtenir une longue durée de vie. Cette durée de vie est également proportionnelle à la vitesse maximale, au déséquilibre résiduel et à la charge appliquée aux paliers créés pour fonctionner des dizaines de milliers d'heures.
- **Les capteurs à effet hall :** Ils permettent à l'électronique d'assurer la commutation des phases du moteur. Le recopiage de la position du rotor peut se faire soit par l'intermédiaire de 3 capteurs magnétiques placés dans le moteur, soit grâce à un résolveur embarqué sur le moteur. La 1ère solution est une solution économique et convenable pour une régulation simple. La seconde permet de parvenir à une régulation exacte, particulièrement pour le positionnement.
- **Une carte électronique :** Elle est utilisée pour piloter le moteur brushless. C'est elle qui définit la direction et la force du champ en fonction de l'information donnée par le capteur effet hall.[18]

II.6.3. La commutation électrique:

Les 3 phases offrent 6 options dans la distribution du courant



Figure II.11: Commutation électrique

II.6.3.A.La commutation en bloc avec capteurs effet hall:

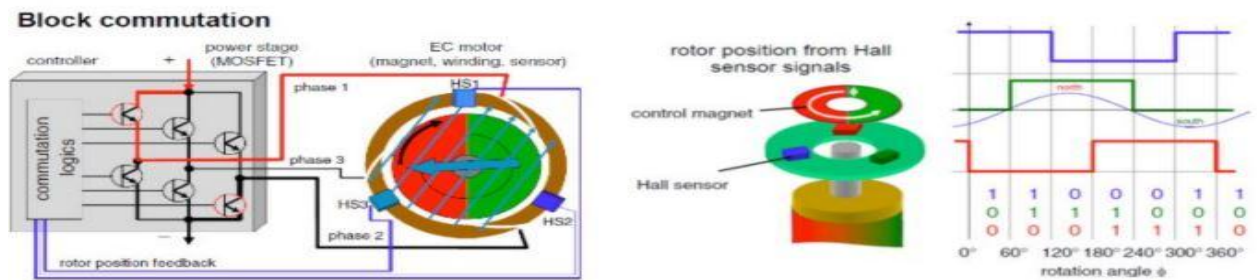


Figure II .12 : Commutation en bloc

Trois capteurs à effet hall fixés au rotor montrent la position de l’aimant par rapport au bobinage. Ils donnent 6 options de coupure différentes par séquence de commutation. Les 3 phases sont traversées par le courant durant 6 phases distinctes en fonction des informations fournies par les capteurs. La commutation par bloc présente de nombreux avantages comme un démarrage maîtrisé avec un fort couple, une électronique simple et peu coûteuse ainsi qu’un fort couple d’accélération.

II.6.3.B.La commutation sans capteur:

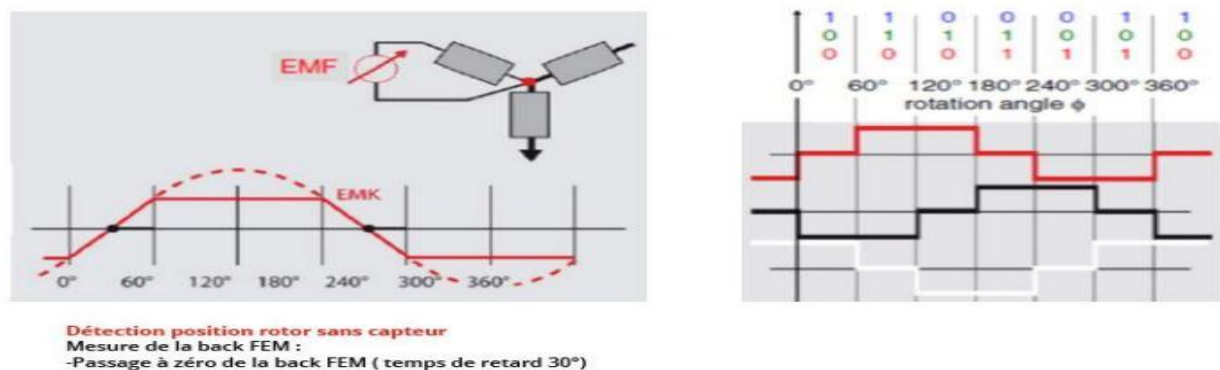


Figure II.13 : Commutation sans capteur

Le moteur démarre avec une séquence de commutation prédéfinie selon une rampe d’accélération. Ensuite, la tension induite définit la position du rotor. Son passage à 0 est reconnu par l’électronique qui commute le courant du moteur. L’amplitude de cette tension est fonction de la vitesse. Cette valeur est trop faible pour le passage à 0 ne peut être reconnu pour des vitesses faibles ou l’arrêt. Ce point de passage à 0 est comparé avec le neutre. Pour que le moteur brushless en « triangle » puisse être commuté sans capteurs, un point neutre virtuel est créé par l’électronique dans un schéma en étoile. La commutation sans capteurs est adaptée pour les applications d’entraînement continu.[19]

II.7. Principe de fonctionnement :

Fonctionnement du moteur sans balai comparé au moteur traditionnel avec balais Un moteur « brushless » est constitué d'aimants permanents sur le rotor et d'un bobinage triphasé sur le stator. Il suffit de faire passer un courant dans une partie du bobinage pour créer un champ magnétique qui va attirer les aimants et les aligner avec le Champ magnétique. Le bobinage est généralement en triphasé, c.a.d. Qu'il est constitué de 3 Groupes de bobines reliées entre elles. En alimentant successivement les groupes de bobines, le rotor va à chaque fois s'aligner sur les champs et tourner. Le moteur est simple mais la commande électronique (codeur ou contrôleur) est plus élaborée. En effet, il faut connaître chaque instant la position du rotor et envoyer le courant dans les groupes de bobines. Celle-ci transforme le courant continu en courant triphasé à fréquence variable et va alimenter successivement les bobines (enroulements) pour créer un champ tournant et donc la rotation.

Ce module électronique est également capable de régler en permanence le courant pour que le moteur fonctionne dans sa zone de rendement maximum. Ce module de commande électronique est soit directement intégré au moteur pour les petites puissances ou intégré dans un boîtier fixé sur le moteur.[20]

II.8. Démarrage d'un moteur brushless :

Le même problème se pose pour le démarrage du moteur brushless, car le rotor ne peut pas atteindre instantanément la vitesse de rotation du champ. Le système de contrôle électronique doit donc assurer un démarrage progressif, l'objectif étant toujours de reproduire la fonction du collecteur. La fréquence des tensions d'alimentations sera donc très basse au départ, puis augmentée progressivement en tenant compte de la réaction du moteur.[21]

II.9. Caractéristiques :

- **Plage de Tension Étendue :** Choisissez parmi une variété de moteurs adaptés à des applications diverses, avec des tensions disponibles de 12 à 80 VDC.
- **Puissance Optimisée :** Nos moteurs brushless offrent des performances énergétiques élevées, avec des options de puissance allant de 350W à 500W, assurant une réponse dynamique et efficace.

- **Technologie Sans Balais (PMAC) :** Profitez des avantages d'une conception sans balais, minimisant l'usure, réduisant l'entretien et améliorant la durabilité globale.[22]

II.10. Domaine D'utilisation :

Les moteurs brushless sont largement utilisés dans l'industrie, en particulier dans les servomécanismes des machines-outils et en robotique, où ils ont fait disparaître les machines à courant continu. On trouve de tels moteurs pour des couples de quelques newtons mètres jusqu'à plusieurs centaines de Nm et des puissances de quelques centaines de watts jusqu'à des centaines de kilowatts. Ils équipent en particulier les disques durs et les graveurs de DVD. Une forme simplifiée et populaire de ces technologies est utilisée dans les ventilateurs assurant le refroidissement de systèmes électroniques, dont les micro-ordinateurs. Dans ce cas, le stator (bobiné) est à l'intérieur et le rotor (comportant les aimants) à l'extérieur. Ces moteurs sont utilisés depuis les années 1990 pour les systèmes de ventilation/climatisation automobiles du fait de leur silence de fonctionnement. Aujourd'hui, on les retrouve dans la plupart des motos, scooters et voitures électriques, des véhicules hybrides, des vélos à assistance électrique, mais aussi dans les roues de certains modèles de trottinettes électriques. Ils sont aussi très utilisés en modélisme pour faire se mouvoir des modèles réduits d'avions, d'hélicoptères (aéromodélisme) ainsi que de petits drones. Ils sont moins bruyants que les moteurs avec balais et leur rapport poids/puissance est très favorable à leur utilisation dans ce domaine. On les retrouve également dans les motorisations d'antennes paraboliques[23]

II.11. Types de moteurs BLDC :

II.11.1. Moteurs brushless outrunner:



Figure II.14 :Moteur brushless outrunner

Les moteurs brushless outrunners comprenant plus de 3 bobines et 2 pôles ne font qu'une fraction de tour lorsque le champ a tourné de 180° . Leur fréquence de rotation est donc plus faible mais le couple très élevé. Ces moteurs brushless outrunners sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent un fort couple, car ils peuvent être reliés à la charge sans nécessiter de dispositif de réduction. Leur coefficient KV est relativement faible par rapport aux autres types de moteurs brushless. Chaque composant des moteurs sont de la plus haute qualité, des matériaux utilisés, de la boîte qu'ils expédient. Ils sont conçus pour fournir une énergie fiable pour votre modèle réduit d'avion à des prix abordables, offrant une solution de performance totale.

II.11.2. Moteurs brushless inrunner :



Figure II .15 :Moteur brushless inrunner

Les « inrunners » ont été les seuls moteurs brushless utilisés au début de la propulsion électrique en aéromodélisme. Ils ont le plus souvent deux ou quatre pôles et nécessitent donc un réducteur du fait des régimes importants de rotation incompatibles avec les régimes de rotation maximaux des hélices. Leur rendement maximum est de l'ordre de 90 %, mais le réducteur en aval diminue ce rendement d'environ 5%. Ils sont d'une utilisation plutôt rare aujourd'hui dans notre univers car supplantés par les « outrunners ». On les distingue facilement par le fait que leur forme est un cylindre fixe avec un seul axe tournant à une extrémité.

II.11.3. Moteurs brushless à disques:

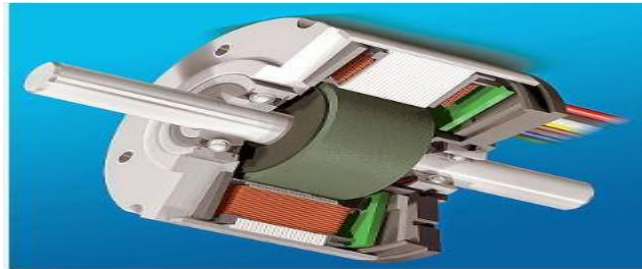


Figure II.16 :Moteur brushless à disque

Le rotor et le stator peuvent également être constitués de deux disques face à face, avec les rayons et les bobines répartis selon les rayons de ces deux disques. Ce type de moteur brushless est peu employé car l'action des bobines sur les aimants crée un effort axial important qui nécessite des butées à billes conséquentes, sans offrir de différences notables au niveau des performances par rapport à un moteur brushless outrunner.[24]

II.12. Model mathématique :

Les équation mathématique qui sont utilisé dans le moteur brushless :

II.12.1.Les équations électriques:

Les équations électriques qui régissent le fonctionnement d'un moteur BLDC sont données par les équations suivantes :

$$va(t) = R * ia(t) + L * \frac{dia(t)}{dt} + ea(t) \quad (1)$$

$$vb(t) = R * ib(t) + L * \frac{dib(t)}{dt} + eb(t) \quad (2)$$

$$vc(t) = R * ic(t) + L * \frac{dic(t)}{dt} + ec(t) \quad (3)$$

Vue que le système est équilibré:

$$ia(t) + ib(t) + ic(t) = 0$$

$$ic(t) = - (ia(t) + ib(t)) \quad (4)$$

(4) dans (3) donne:

$$vc(t) = - R * ia(t) - R * ib(t) - L * \frac{dia(t)}{dt} - L * \frac{dib(t)}{dt} + ec(t) \quad (5)$$

(1), (2) et (5) impliquent:

$$vab(t) = R * ia(t) + L * \frac{dia(t)}{dt} + ea(t) - R * ib(t) - L * \frac{dib(t)}{dt} - eb(t) \quad (6)$$

$$vbc(t) = R * ib(t) + L * \frac{dib(t)}{dt} + eb(t) + R * ia(t) + R * ib(t) + L * \frac{dia(t)}{dt} + L * \frac{dib(t)}{dt} - ec(t) \quad (7)$$

$$vbc(t) = 2 * R * ib(t) + 2 * L * \frac{dib(t)}{dt} + eb(t) + R * ia(t) + L * \frac{dia(t)}{dt} - ec(t) \quad (8)$$

(8) implique:

$$R * ib(t) = \frac{1}{2} (vbc(t) - 2 * L * \frac{dib(t)}{dt} - eb(t) - R * ia(t) - L * \frac{dia(t)}{dt} + ec(t))$$

$$R * ib(t) = \frac{1}{2} * vbc(t) - L * \frac{dib(t)}{dt} - \frac{1}{2} * eb(t) - \frac{1}{2} * R * ia(t) - \frac{1}{2} * L * \frac{dia(t)}{dt} + \frac{1}{2} * ec(t) \quad (9)$$

(9) dans (6) donne:

$$\frac{dia(t)}{dt} = \frac{2}{3 * L} * vab(t) - \frac{R}{L} * ia(t) - \frac{2}{3 * L} * eab(t) + \frac{1}{3 * L} * vbc(t) - \frac{1}{3 * L} * ebc(t) \quad (10)$$

(10) dans (8) donne:

$$\frac{dib(t)}{dt} = \frac{1}{3 * L} * vbc - \frac{R}{L} * ib(t) - \frac{1}{3 * L} * ebc(t) - \frac{1}{3 * L} * vbc(t) + \frac{1}{3 * L} * eab(t) \quad (11)$$

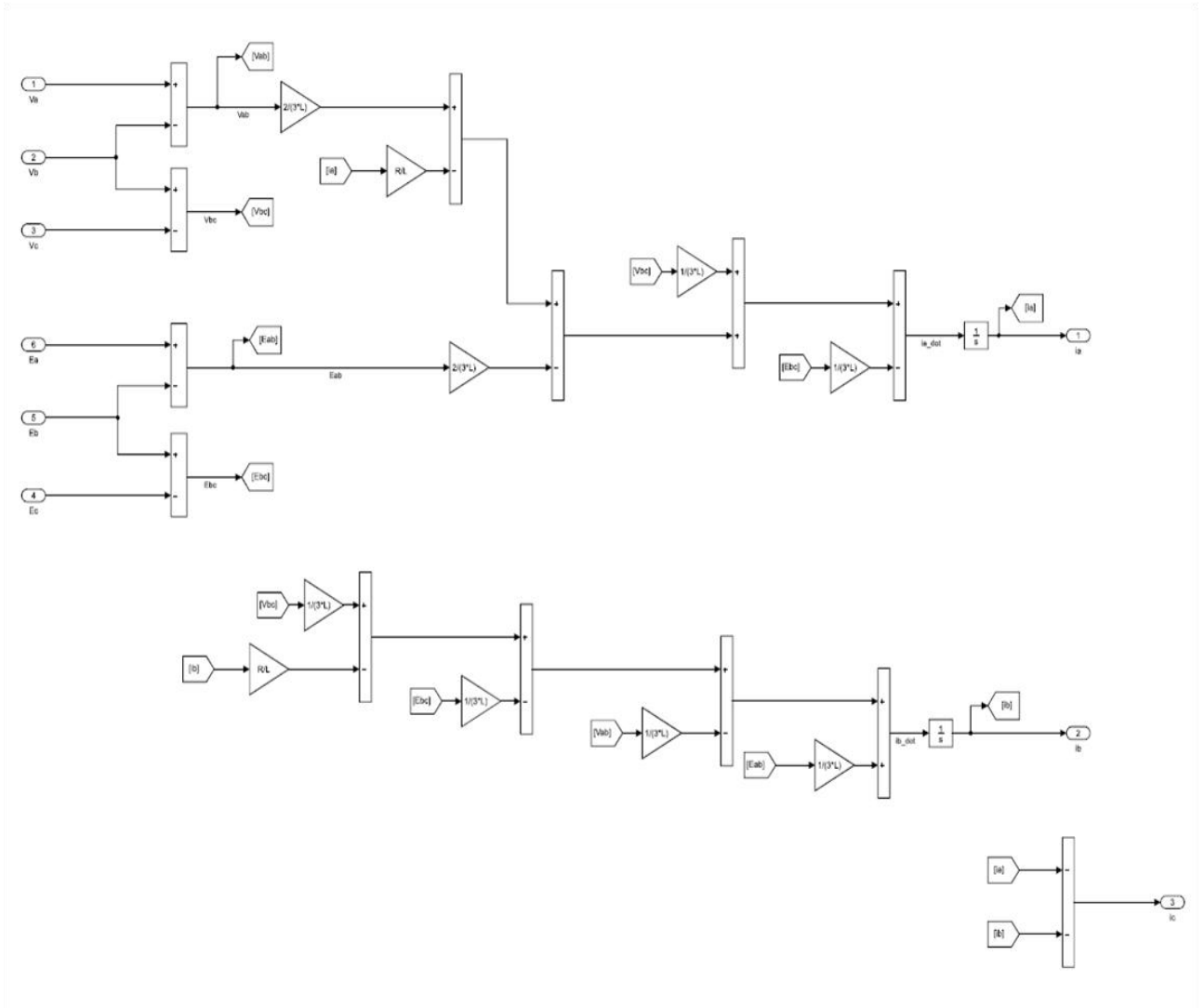


Figure II.17: bloc représente les équations életriques

● Le couple électrique

Le couple électrique généré par un moteur BLDC se calcul comme suit :

$$T_e = \frac{e_a * i_a + e_b * i_b + e_c * i_c}{\dot{\theta}_m} \quad (12)$$

Avec e_i et i_i la force contre électromotrice et le courant sur chaque phase et $\dot{\theta}_m$ la vitesse de rotation du rotor.

Les expressions des e_i sont définies comme suit :

$$ea = \frac{ke}{2} * \dot{\theta}m * Tra(\theta e) \quad (13)$$

$$eb = \frac{ke}{2} * \dot{\theta}m * Tra(\theta e - \frac{2 * \pi}{3}) \quad (14)$$

$$ec = \frac{ke}{2} * \dot{\theta}m * Tra(\theta e - \frac{4 * \pi}{3}) \quad (15)$$

Où ke est la constante de force contre électromotrice et θe l'angle électrique qui se calcul comme suit $\theta e = p * \theta m$ avec le nombre de pair de pôle.

$Tra(\theta e)$ est une fonction d'onde trapézoïdal définit comme suit :

$$Tra(\theta e) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \theta e < \frac{2}{3}\pi \\ 1 - \frac{6}{\pi} * (\theta e - \frac{2}{3}\pi), & \frac{2}{3}\pi \leq \theta e < \pi \\ -1, & \pi \leq \theta e < \frac{5}{3}\pi \\ -1 - \frac{6}{\pi} * (\theta e - \frac{5}{3}\pi), & \frac{5}{3}\pi \leq \theta e < 2\pi \end{cases} \quad (16)$$

13, 14 et 15 dans 12 donne:

$$Te = \frac{ke}{2} * (Tra(\theta e) * ia + Tra(\theta e - \frac{2 * \pi}{3}) * ib + Tra(\theta e - \frac{4 * \pi}{3}) * ic)$$

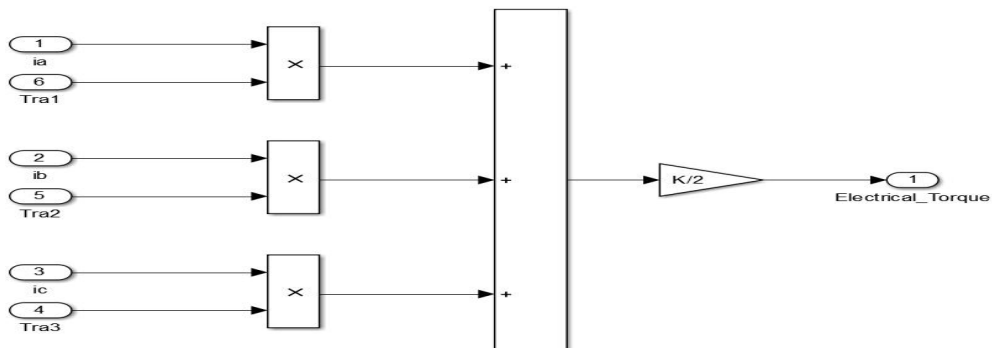


Figure II .18: bloc représente le couple électrique

II.12.2.Équations mécaniques:

L'équation mécanique qui régit le fonctionnement d'un moteur BLDC est la suivante :

$$T_e = B\dot{\theta}_m + J\ddot{\theta}_m + TL$$

Où T_e est le couple électrique, B est le coefficient de frottement visqueux J l'inertie du rotor, TL est le couple de charge, $\dot{\theta}_m$ et $\ddot{\theta}_m$ respectivement la vitesse et l'accélération du rotor.[25]

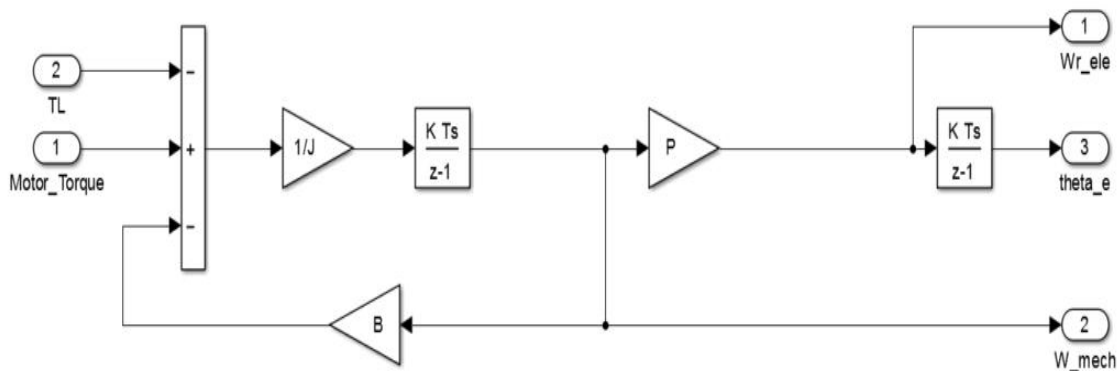


Figure II.19:bloc représente les équations mécaniques

II.13. Avantages et inconvénients :

II.13.1.Les avantages du moteur brushless:

- ✓ **Une durée de vie allongée :** Une utilisation optimisée du moteur permettra d'accroître de manière importante la durée de vie de vos équipements.
- ✓ **Confort d'utilisation :** Le moteur étant plus petit et permettant un encombrement moins important qu'un moteur asynchrone, le moteur brushless s'adaptera très bien sur vos lignes.
- ✓ **Gestion de la vitesse :** Le moteur brushless permet une plage de réglages importante en conservant un couple quasi constant.
- ✓ **Haute efficacité :** Moteurs brushless sont plus efficaces à la conversion de l'électricité en puissance mécanique que les moteurs brushed. Comme il alimenté par une source électrique DC via l'onduleur intégré/commutation d'alimentation, qui produit un signal électrique alternatif pour entraîner le moteur, électronique et capteurs supplémentaires contrôle l'amplitude de sortie onduleur et de forme d'onde et de

fréquence. Mais dans un moteur **brushed**, un électro-aimant est monté sur un bras de rotation, appelé induit ou rotor. L'induit se trouve entre deux aimants définis dans une configuration de fer à cheval, collectivement .

- ✓ appelée le stator. Quelle puissance est alimenté à l'électro-aimant, le bras se déplace, en alignant les pôles Nord et sud de l'électro-aimant avec les pôles opposés du stator.
- ✓ **Entretien réduit** : Les moteurs sans balais n'ont pas de balais à user et à remplacer, résultant en des besoins de maintenance réduits.
- ✓ **Fiabilité améliorée** : Les moteurs sans balais n'ont pas de collecteur pour s'user ou créer des étincelles, ce qui les rend plus fiables et adaptés à une utilisation dans des environnements dangereux.
- ✓ **Performances constantes** : Les moteurs sans balais offrent des performances constantes sur une longue durée de vie grâce à leur commutation électronique et à leur contrôle précis
- ✓ **Beaucoup de temps à l'aide**: En raison de l'absence de balais, moteurs brushless, soulager les pertes dues à la friction. Et dans les plus grands modèles où la surchauffe peut être un problème, ils sont plus faciles à refroidir. Le renforcement de l'efficacité est plus grand dans la région de marche à vide et charge faible de la courbe de rendement du moteur.[26]

II.13.2. Les inconvénients de BLDC:

- ✓ **Coût élevé** : Les moteurs CC sans balais sont généralement plus chers que les moteurs CC à balais en raison des commandes électroniques complexes requises pour le fonctionnement.
- ✓ **Entretien complexe** : Les moteurs sans balais nécessitent des connaissances et des équipements spécialisés pour la réparation et l'entretien, les rendant moins accessibles à l'utilisateur moyen.
- ✓ **Problèmes de compatibilité électromagnétique** : Les moteurs sans balais peuvent générer des interférences électromagnétiques, qui peuvent avoir un impact sur d'autres appareils électroniques à proximité.
- ✓ **Plage de vitesse limitée par rapport aux moteurs à balais** : Les moteurs sans balais peuvent avoir une plage de vitesse limitée par rapport aux moteurs à balais, les rendant moins adaptés à certaines applications.[27]

II.14. Conclusion :

En conclusion, les moteurs à courant continu sans balais représentent une avancée majeure dans la technologie des moteurs électriques. Avec leurs nombreux avantages tels que l'efficacité énergétique, la durabilité, le faible bruit et la précision du contrôle, ils sont devenus un choix incontournable pour de nombreuses applications. Bien qu'il existe des défis, notamment en termes de coûts et de complexité de conception, les innovations en cours dans le domaine promettent d'améliorer encore leur accessibilité et leurs performances. Les moteurs BLDC continueront donc à jouer un rôle essentiel dans l'avancement des technologies durables et efficaces, contribuant significativement à un avenir plus respectueux de l'environnement.

Chapitre III

Généralités sur Les Pompes

III.1. Introduction :

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression. La mise en œuvre de procédés de transformation de matière nécessite très souvent le transport de fluides. L'acheminement d'un fluide d'un point à un autre peut être réalisé en utilisant les forces de gravité, de vide ou des pressions, mais ces solutions sont limitées dans leurs applications. Dans la plupart des cas, on a recours aux pompes, permettant de travailler à des débits réguliers, contrôlés et sur des distances et des hauteurs importantes.

L'énergie fournie au moteur de la pompe (électrique ou thermique) est transformée en énergie mécanique qui est transmise au fluide. Cet apport d'énergie au fluide permet de vaincre les pertes d'énergie entre les deux extrémités d'un circuit de transport liées aux pertes de charge et à d'éventuelles différences d'altitude ou de pression.

Deux grandes catégories de pompes existent :

- Les pompes volumétriques, qui fonctionnent sur le principe du déplacement d'un volume de fluide
- Les pompes centrifuges, qui fonctionnent sur le principe du rotor et du stator

Chaque catégorie présente certains avantages et inconvénients, mais globalement on retrouve plus fréquemment les pompes centrifuges pour les applications industrielles. Lorsque l'on doit faire le choix d'une pompe pour une installation, il est nécessaire de dimensionner en utilisant les notions de hauteur manométrique totale (HMT, puissance et rendement de la pompe. [28]

III.2. Historique :

Les premières bases de l'hydraulique remontent au deuxième siècle avant Jésus, avec la vis d'Archimède, aussi appelée escargot, pompe à vis, ou encore vis sans fin, est un dispositif qu'Archimède aurait mis au point lors d'un voyage en Égypte, permettant aux habitants du bord du Nil d'arroser leurs terrains.

Il s'agit d'une machine élévatrice constituée d'un tube axial en rotation, incliné de 30° à 38° par rapport à l'horizontale, autour duquel sont fixées d'une à trois spires hélicoïdales, tournant au sein d'un cylindre enveloppe de même axe et le long desquelles on peut élever de l'eau, de la boue, du sable ou toute autre substance poudreuse ou granulaire

Puis, les Grecs et Romains avaient découvert les principes de la pompe à piston, de la pompe centrifuge et de la pompe à vide mais ne les ont pas appliqués pour construire des modèles de pompes à eau, et jusqu'à la fin du 18^e siècle, les pompes étaient utilisées exclusivement pour le transfert d'eau.

Ce n'est qu'à la fin du 18^e siècle que les premières pompes ont été construites et utilisées industriellement, et la première utilisation industrielle de la pompe à eau est liée à l'industrie minière : les pompes étaient utilisées pour évacuer l'eau qui inondait les galeries souterraines.

Des pompes à piston actionnées par la vapeur étaient utilisées, selon le principe de la machine de Watt.

L'énergie électrique a ensuite permis le développement de pompes rotatives, à turbine et centrifuges.

Depuis près d'un siècle, aucun autre principe de pompe à eau n'a été découvert. Seuls les matériaux utilisés et la précision de l'usinage ont permis d'obtenir un meilleur rendement, un débit plus important et une pression plus élevée. [29]

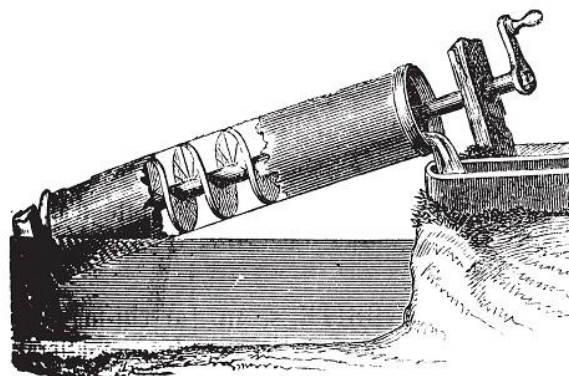


Figure III.1 : Une pompe antique 1^{er} siècle av. J.-C.



Figure III.2 : Une pompe moderne

III.3. Les composants des pompes :

La figure 03 résume les composant principale de la pompe, il contient la cavité qui permet la circulation de fluide .il est généralement en métal pour résister à la pression et à la corrosion.

- **L'arbre de pompe :**

C'est l'élément qui assure la rotation de la pompe .il est relié à la source d'énergie (moteur électrique, moteur thermique, etc.) et transmetla force nécessaire pour la rotation de la pompe.

- **Le rotor :** C'est la partie tournante de la pompe.il souvent constituée d'engrenages, de palettes ou de pistons, et assure la circulation de fluide.
- **Le stator :** C'est la partie fix de la pompe qui accompagne le rotor dans sa rotation.il souvent constituée une paroi interne et d'une série de cavité qui permettent de faire circuler le fluide.
- **Les joints :** Ces éléments permettent d'assurerl'étanchéité entre les différentes parties de la pompe, afin d'éviter les fuites de fluide.
- **Les clapets-anti retour :** Ces éléments permettent de réguler le débit de fluide en empêchant le retour de celui-ci dans le circuit.
- **Les filtres :** Ces éléments permettent de retenir les impuretés présentes dans le fluide afin d'assurer un bon fonctionnement de la pompe et d'éviter l'usure prématurée des composantes. [30]

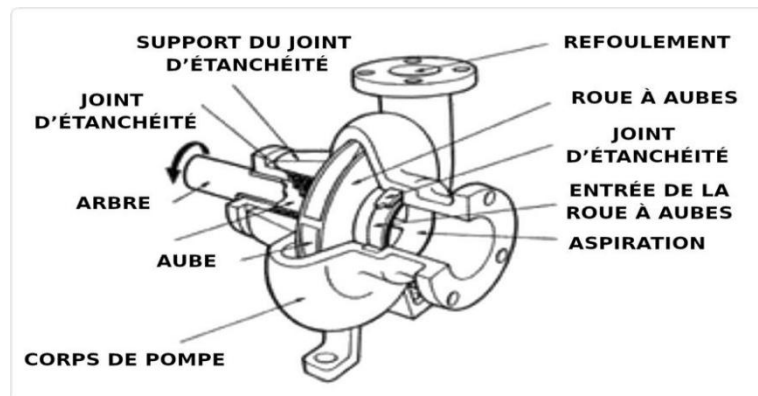


Figure III.3 : Composants des pompes

III.4. Principe de fonctionnement:

La pompe hydraulique transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Il s'agit d'un dispositif qui prend de l'énergie d'une source (par exemple le moteur thermique, moteur électrique, etc.) et transforme cette énergie sous forme hydraulique. La pompe hydraulique prend l'huile hydraulique d'un réservoir de stockage et la pousse dans un circuit hydraulique sous forme de débit ainsi toutes les pompes hydrauliques produisent un débit d'huile de la même façon.

Une dépression est créée du côté de l'aspiration de la pompe hydraulique puis la pression atmosphérique élevée ou la pression du réservoir pousse l'huile à travers l'orifice d'aspiration et à l'intérieur de la chambre d'aspiration de la pompe. L'engrenage de la pompe à engrenages par exemple transporte ensuite l'huile vers la chambre de refoulement de la pompe hydraulique. Le volume de la chambre diminue au fur et à mesure que la chambre se rapproche de l'orifice de refoulement. Cette diminution de la taille de la chambre pousse l'huile vers la sortie (vers le circuit).[31]

III.5. Les différents types des pompes :

Il existe deux grandes familles de systèmes de pompage qui diffèrent selon l'utilisation que l'on souhaite en faire, ce qui sera déterminé par les procédés fluides. Si l'on souhaite augmenter la pression d'un fluide, il faudra se tourner vers les pompes volumétriques dont l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.

. Si l'on veut en augmenter le débit, on utilisera les pompes centrifuges. Là, le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

III.5.1. Pompes centrifuges :

C'est le type de pompe industrielle le plus commun. La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes augmente l'énergie cinétique et projette, à l'aide de la force centrifuge, le liquide à la périphérie sur la volute. À la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice.



Figure III.4 : Une pompe centrifuge

III.5.2. Pompe volumétrique :

La pompe volumétrique, ou dite à capacité variable, est une pompe dans laquelle l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide. Son fonctionnement repose sur le Principe du mouvement cyclique.



Figure III.5 : Une pompe volumétrique

On distingue deux types de pompes volumétriques : les pompes alternatives ou à pistons, et les pompes rotatives.

III.5.3. Les pompes à piston :

sont des pompes doseuses volumétriques alternatives. Elles peuvent être configurés avec un seul piston ou à plusieurs têtes. Elles sont souvent utilisées pour des fluides propres sans particules pour des applications de précision et/ou à haute pression.



Figure III.6:Une pompe à piston

III.5.4. Les pompes rotatives :

Les pompes volumétriques rotatives couvrent une plage étendue de débits et constituent donc des pompes d'injection ou de dosage idéales. Elles sont souvent une solution économique, surtout pour les industries alimentaire, pharmaceutique et biotechnologique et pour les pressions plus faibles.[32]

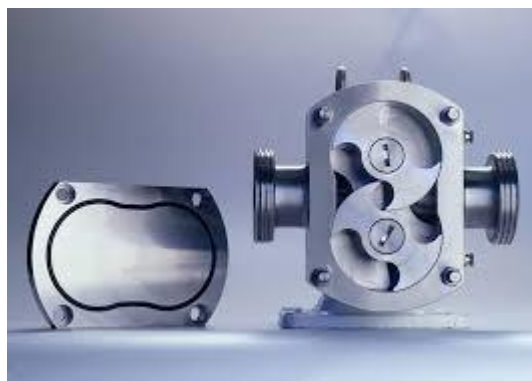


Figure III.7:Une pompe rotative

- Le dernier type de la pompe c'est la pompe d'eau qui nous allons utiliser dans notre travail.

III.6. la pompe d'eau :

Une pompe à eau est un dispositif mécanique utilisé pour déplacer l'eau d'un endroit à un autre. Que ce soit pour alimenter en eau potable nos maisons, irriguer les cultures agricoles, maintenir le bon fonctionnement des systèmes industriels ou encore assurer la propreté de nos piscines, les pompes à eau jouent un rôle essentiel dans notre quotidien. Comprendre leur fonctionnement, leur utilité et les différents types disponibles est crucial pour choisir la pompe adaptée à nos besoins spécifiques.[33]



Figure III.8: Pompe d'eau

III.7. Fonctionnement de pompe d'eau :

Le fonctionnement d'une pompe à eau repose sur des principes de pression et de déplacement de l'eau. En général, une pompe crée une force qui permet de déplacer l'eau à travers des conduites. Cela se fait en créant une différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe, propulsant ainsi l'eau dans la direction souhaitée. Le mécanisme de pompage peut varier en fonction du type de pompe, mais l'objectif reste le même : transporter l'eau efficacement et en toute sécurité.[34]

III.8. Utilisation de la pompe d'eau :

Les pompes à eau sont utilisées dans de nombreux domaines pour répondre à des besoins spécifiques en matière d'eau. Dans nos foyers, les pompes à eau domestiques assurent un approvisionnement constant en eau potable pour les robinets, les douches et les toilettes. Elles sont également utilisées dans les systèmes d'irrigation agricole pour arroser les cultures et maintenir un niveau d'humidité adéquat. Dans les applications industrielles, les pompes à eau sont essentielles pour le fonctionnement des machines, le refroidissement des équipements et le transport des liquides. Les pompes à eau sont également utilisées dans les piscines pour filtrer et recirculer l'eau, assurant ainsi la propreté et la clarté de l'eau [35]

III.9. Types des pompes d'eau :

III.9.1. Pompe de suppression d'eau:

Comme leur nom l'indique, ces pompes sont utilisées dans les usines de traitement des eaux usées pour contrôler et augmenter la pression de l'eau. Une pompe-surpresseur est une pompe équipée ou non d'un réservoir à vessie qui permet d'augmenter la pression d'eau du réseau ou de la maintenir constante en cas de forte demande. Un système de surpression est idéalement utilisé en installation domestique pour pallier les problèmes de sous-pression. Par exemple, si vous avez une utilisation simultanée de votre machine à laver et de votre douche, la pompe se déclenche et s'arrête automatiquement grâce au pressostat, également appelé contacteur. [36]



Figure III.9:Pompe de suppression d'eau

III.9.2. La pompe de surface :

La pompe de surface est une pompe à eau électrique installée hors de l'eau. Il est préférable d'installer sa pompe dans un abri pour la protéger des intempéries. En effet, la pompe de surface craint le froid et le gel. Il est donc nécessaire de la préserver. La pompe de surface électrique peut aspirer de l'eau jusqu'à 8 mètres de profondeur, mais au-delà de 8 mètres la pompe désamorçe. Vous pourrez alors aisément pomper l'eau d'un puits ou d'un forage. Généralement, la pompe de surface est utilisée pour l'arrosage du jardin, vider une piscine ou...[37]



Figure III.10:La pompe de surface

III.10. Les avantages et les inconvénients :

III.10.1. Les avantages des pompes :

- ✓ **Facilité d'installation et d'entretien** : contrairement aux pompes immergées, les pompes de surface sont installées à l'extérieur du puits, ce qui facilite leur installation et leur entretien. Elles ne nécessitent pas de travaux importants pour être mises en place.
- ✓ **Économie d'énergie** : les pompes de surface consomment généralement moins d'énergie que les pompes immergées, car elles n'ont pas besoin de soulever l'eau sur une grande hauteur.
- ✓ **Polyvalence** : les pompes de surface peuvent être utilisées pour différentes applications, comme l'irrigation des jardins, l'alimentation en eau potable ou encore la vidange de bassins et piscines.

III.10.2. Les inconvénients des pompes:

- ✓ **Profondeur d'aspiration limitée** : la capacité d'aspiration des pompes de surface est limitée à environ 7-8 mètres de profondeur. Au-delà, il est préférable d'utiliser une pompe immergée.
- ✓ **Bruit** : le fonctionnement d'une pompe de surface peut être relativement bruyant, surtout si elle est installée près d'un lieu de vie (maison, terrasse, etc.).
- ✓ **Sensibilité aux impuretés** : les pompes de surface sont plus sensibles aux particules solides présentes dans l'eau que les pompes immergées. Il est donc important de veiller à installer un filtre en amont de la pompe pour éviter les problèmes de colmatage et d'usure prématurée.[38]

III.11. Conclusion:

En Conclusion, les pompes ce sont des composants essentiels dans un large éventail d'industries ,contribuant de manière significative à la performance et à l'efficacité des processus de production.

En comprenant les composants des pompes,leurs fonctionnements,leurs différents type,puis on a défini la pompe d'eau et présenté sa fonctionnement,sa utilisation et enfin citer les avantages et les inconvénients des pompes.

Avec les avancées technologiques et innonvations continues dans le domaine,les pompes industrielles continueront d'évoluer pour offrir des performances toujours plus élevées et une fiabilité accrue.

Chapitre IV

Intéprétations et Résultats

IV.1. Introduction:

la Modélisation et la simulation sont deux outils essentiels pour l'analyse et la conception de systèmes complexes, tels que les systèmes de production, les processus chimiques, les systèmes économiques, les systèmes biologiques, les systèmes d'information, etc. La modélisation et la simulation permettent de comprendre le comportement des systèmes, de prédire leur performance, de concevoir des améliorations et de prendre des décisions éclairées.

Le logiciel utilisé est MATLAB/SIMULINK parce qu'il permet la représentation facile, par des bloc accomplissant chacun une fonction prédéterminée, des systèmes dynamiques.

MATLAB est un logiciel de calcul numérique matriciel à syntaxe simple. C'est devenu un logiciel de programmation largement utilisé en finance et en ingénierie financière. Il permet à l'utilisateur d'élaborer ses propres fonctions de véritables programmes, ainsi que, des interfaces graphiques très performantes. [39]

IV.2. Simulation du moteur BLDC:

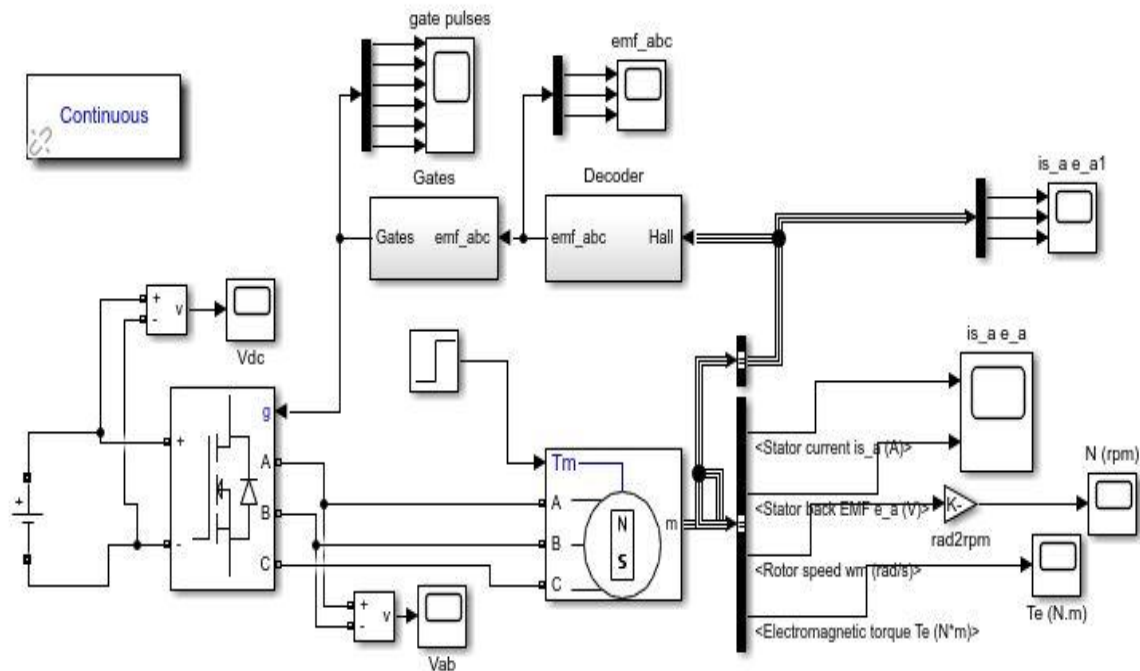


Figure IV.1: Schéma de moteur BLDC

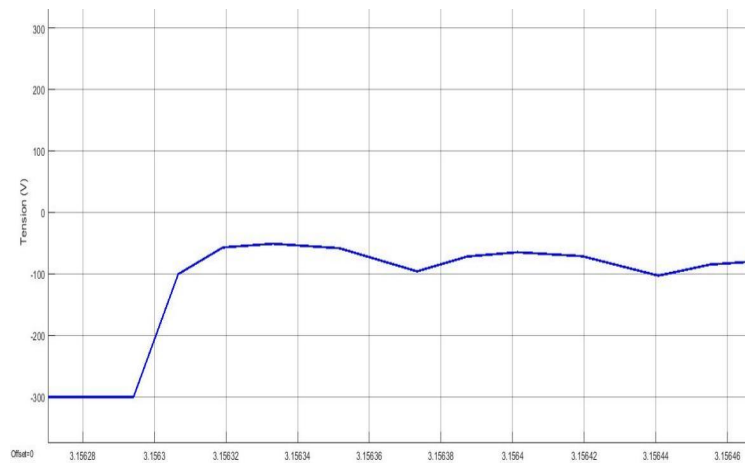


Figure IV.2: Courbe de tension

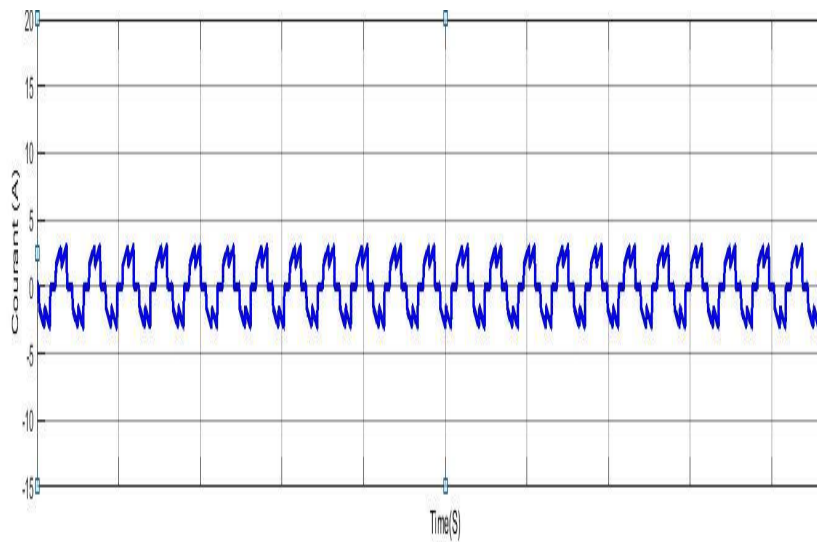


Figure IV.3: Courbe du courant

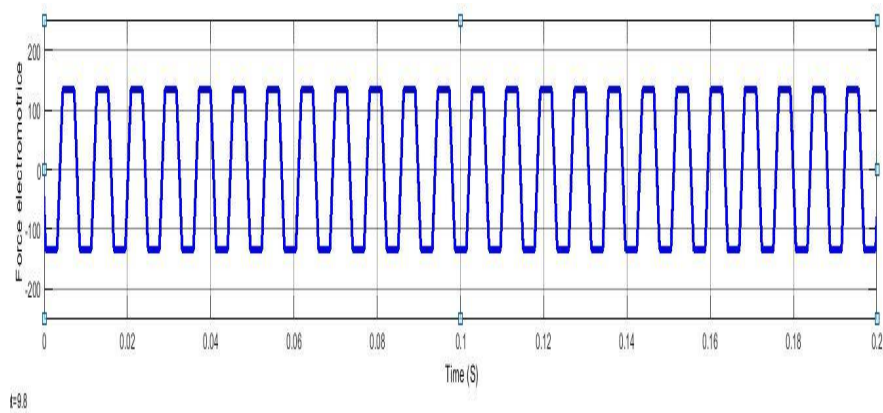


Figure IV.4: Courbe du force electromotrice

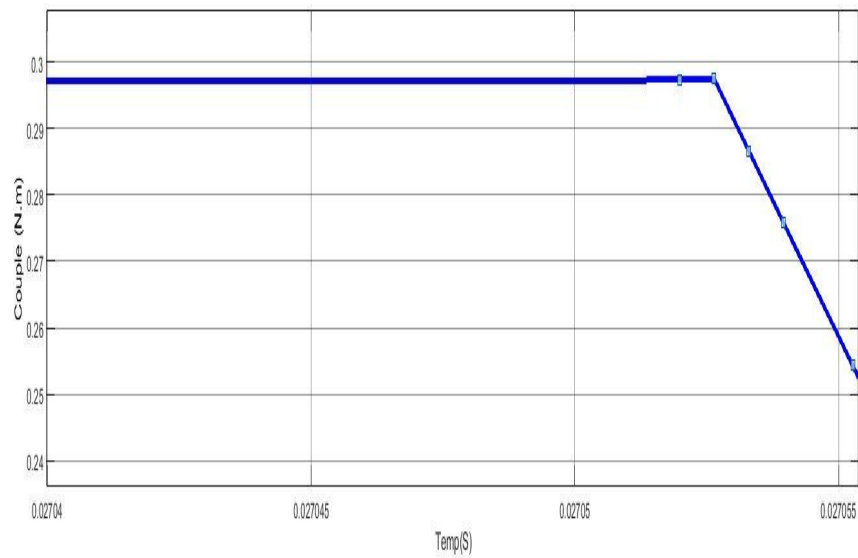


Figure IV.5: Courbe du couple électromagnétique

IV.3. Simulation de photovoltaïque:

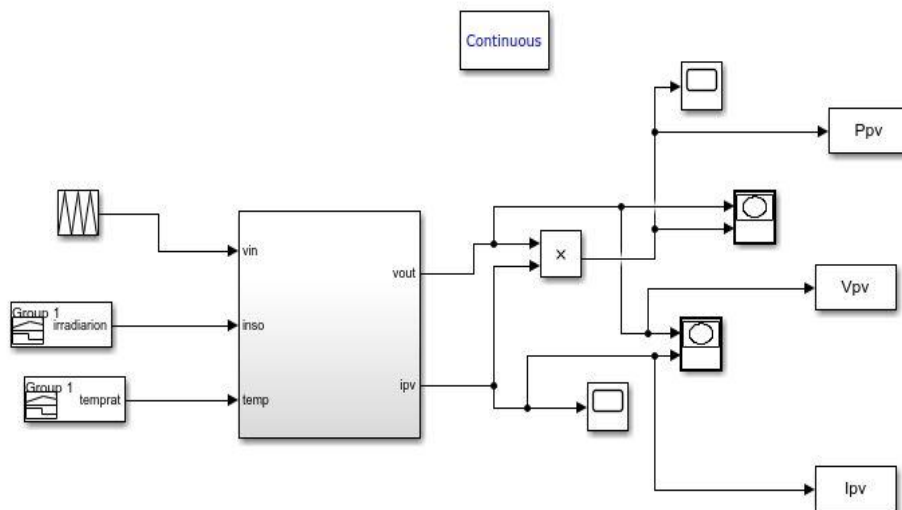


Figure IV.6: Schéma de photovoltaïque

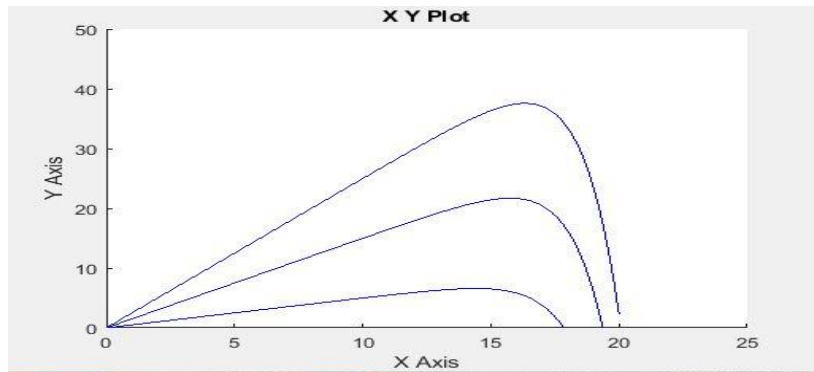


Figure IV.7: Courbe de tension

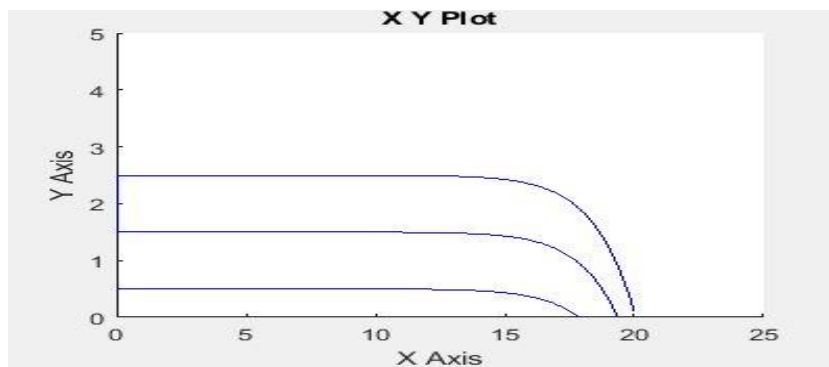


Figure IV.8: Courbe de puissance

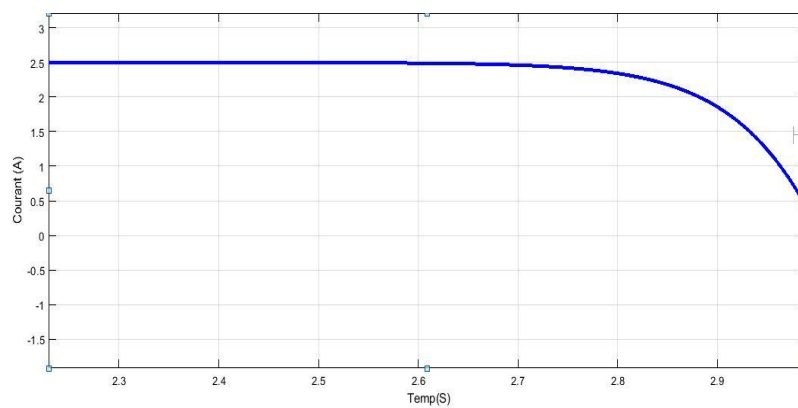


Figure IV.9: Courbe du courant

IV.4.Simulation de système globale:

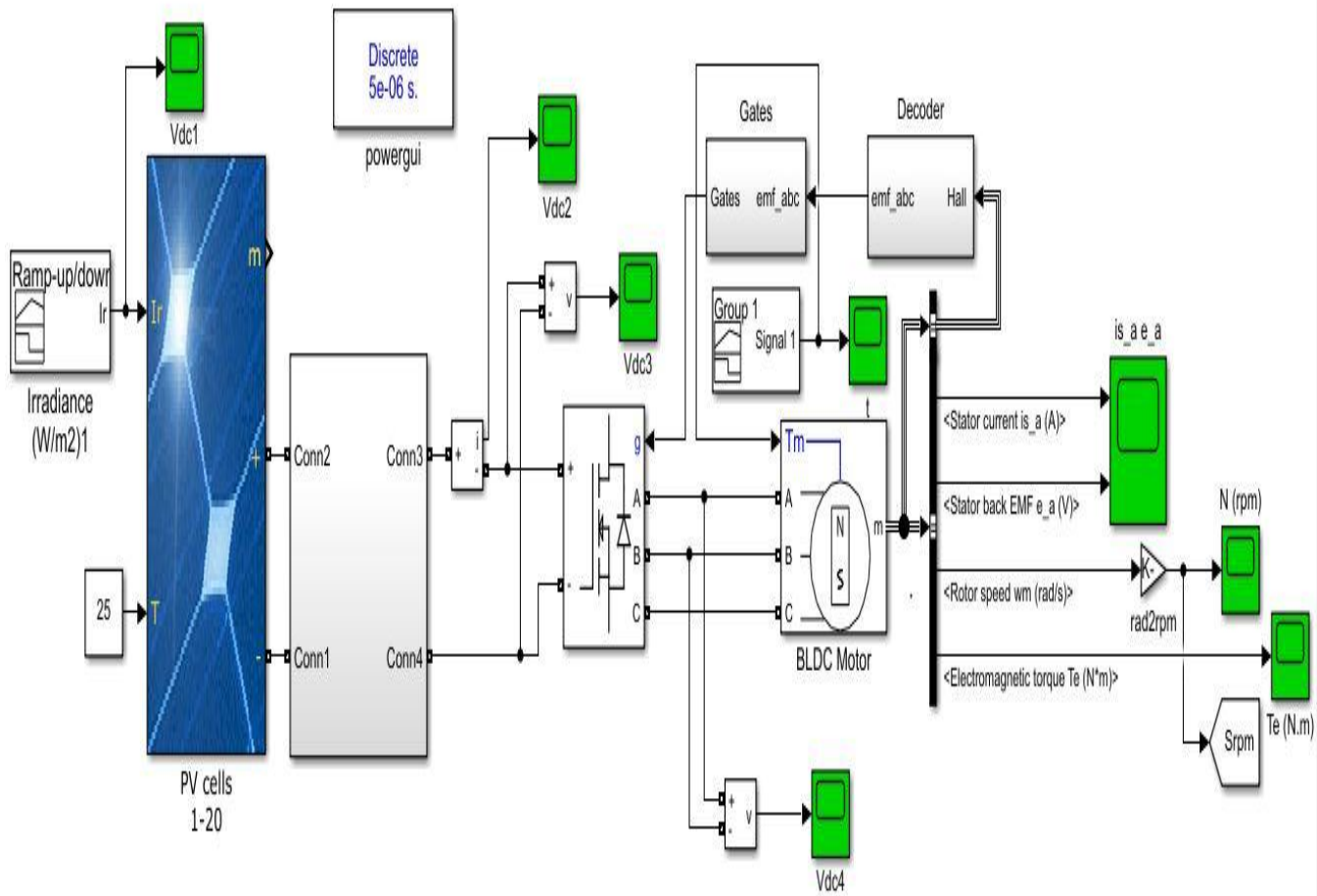


Figure IV.10:Schéma de système global

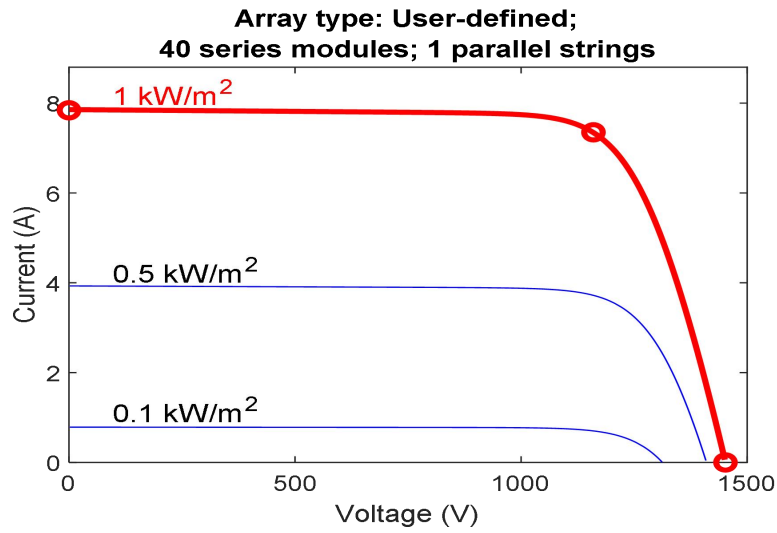


Figure IV.11: Courbe du Courant de PV Array

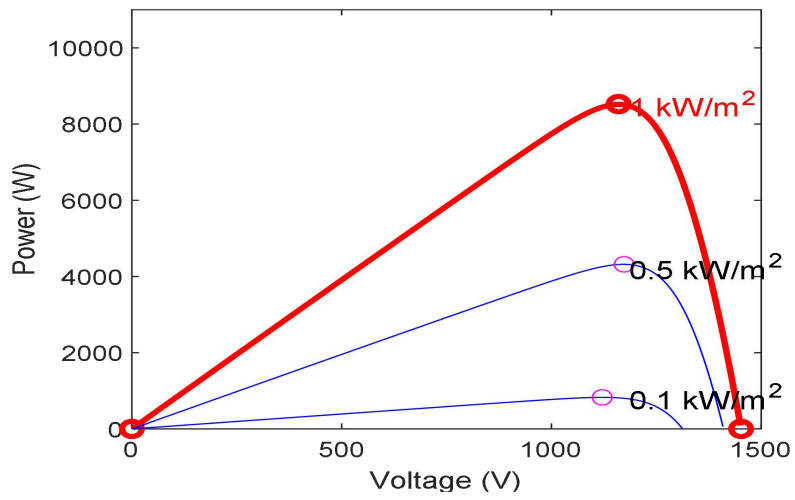


Figure IV.12: Courbe de Puissance de PV Array

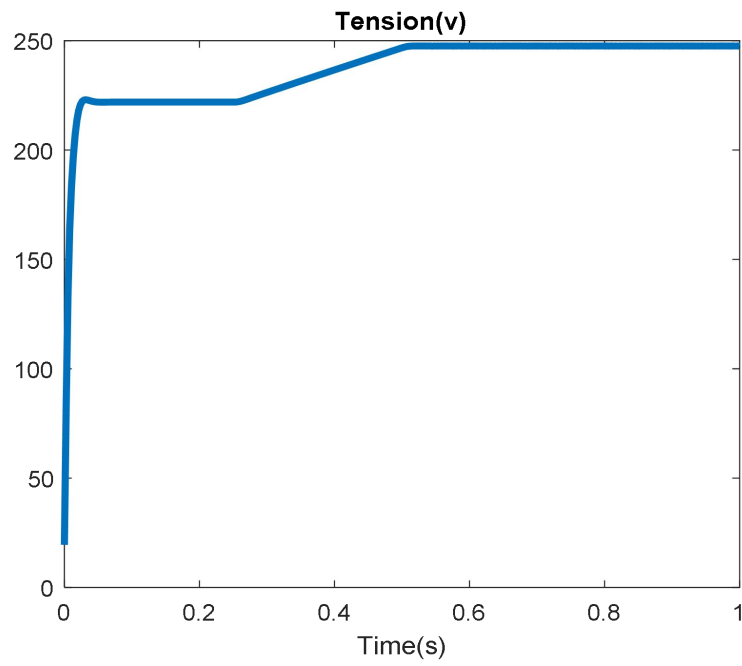


Figure IV.13: Courbe de tension

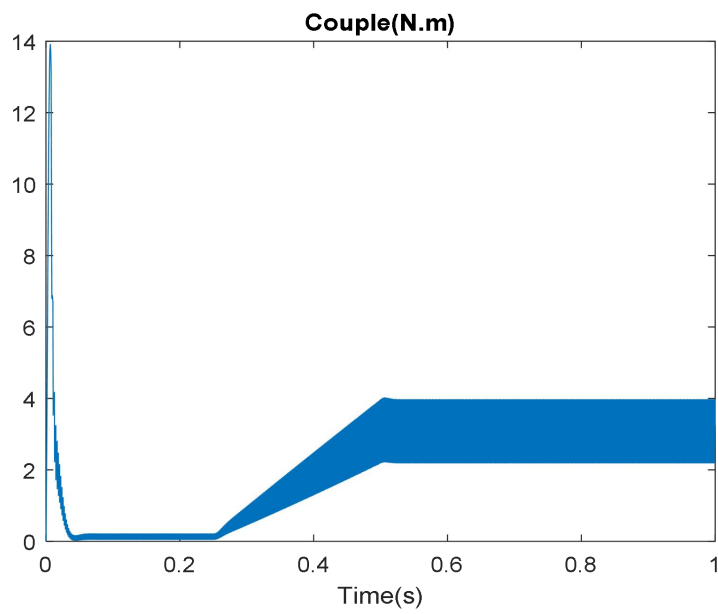


Figure IV.14: Courbe du Couple

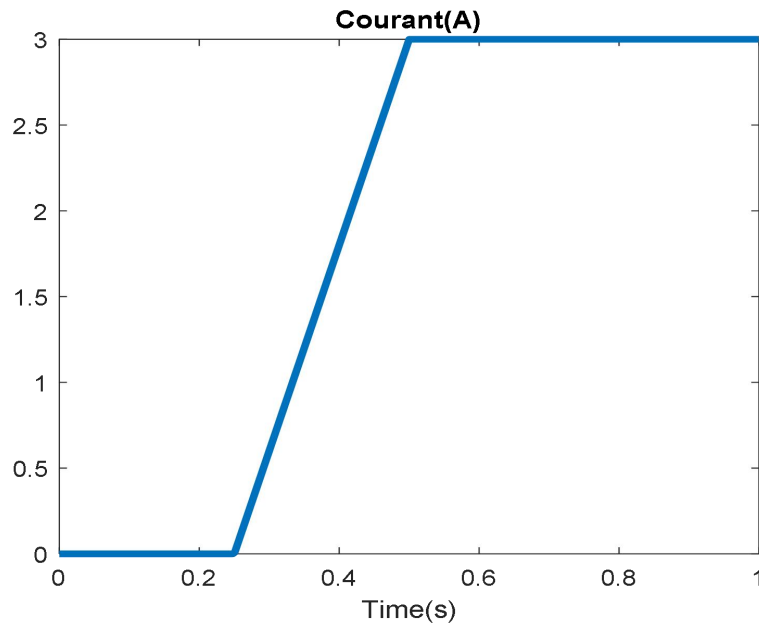


Figure IV.15 : Courbe du courant

IV.5. Interprétation des résultats:

Figure IV.11. Courbe de Courant de Array:

Cette Courbe montre la relation entre la tension et le courant générée par le système. Et aussi on peut voir que plus le débit augmente le courant augmente aussi, à cause de plus l'absorption des énergie.

Figure IV.12. Courbe de Puissance : Cette figure représente la puissance en fonction de voltage en différence valeur de débit .On observe deux points principaux où la puissance atteint son maximum à une certaine tension de 1200v .On peut voir que la puissance augment avec la tension à 0v jusqu'à 1200v de valeur maximale 1KW/m² ,puis diminuer à 1200v jusqu'à 1500v .

Cette courbe est utilisée pour déterminer la tension optimale afin d'obtenir une efficacité maximale du système.

Figure IV.13. Courbe de tension: Cette courbe montre comment la tension varie dans le temps .La courbe indique une réponse rapide au début, suivi une stabilisation.

Cette courbe est utilisé pour analyser la stabilité de la tension dans le système et garantir qu'il n'y pas de fluctuations indésirables. Cela est crucial pour maintenir une performance stable et fiable du système .

Figure IV.14. Courbe du Couple: Cette courbe montre comment le couple générer par le moteur varie avec le temps. On observe que le couple augmente rapidement au début puis se stabilise à une certaine valeur 0.5s.

Cette courbe est utilisé pour analyser la réponse du système aux différentes charges et s'assurer que le moteur peut gérer les charges requises efficacement .

Figure IV.15 : Courbe du courant : Cette courbe montre comment le courant générer par le moteur varie avec le temps. On observe que le courant au début à 0s jusqu'à 0.25s est stable puis augmente à 0.25s jusqu'à 0.5s puis il devient stable à 0.5s jusqu'à 1s.

IV.6. Conclusion:

Dans ce chapitre on a fait la simulation de moteur BLDC puis le cellule photovoltaïque puis le système globale qui représente le système de pompage photovoltaïque avec moteur BLDC.

Le résultat des simulation qui présentés précédemment montrant l'avantage de système de pompage photovoltaïque avec moteur brushless.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail a porté sur la modélisation d'un système de pompage photovoltaïque en utilisant un moteur brushless .D'abord, nous avons parlé de l'énergie solaire et de la cellulePV, du principe de fonctionnement et des différents système PV, Ensuite ,nous examinons les types courants de moteurs et nous sommes spécialisés dans la discussion sur le moteur qui fera partie de notre travail, il est le moteur brushless puis nous nous sommes dirigés vers les pompes , notamment de la pompe d'eau, leur types et utilisations, nous passons donc à la simulation d'un système pompage PV en utilisant le moteur brushless pour obtenir le maximum d'énergie fournie par le GPV.

Ce travail et cette étude , nous a permet d'obtenir des résultats plutôt bon.En perspective, nous proposons de compléter cette recherche, développez-le davantage et le prendre en compte dans les futures recherches des spécialités.

Bibliographiques

[1] : N.BOUDALI, A.GUBLISAYEH, « Etude et réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte arduino UNO », Mémoire de Master en commandes électrique, université IBN KHALDON, Tiaret, 2023.

[2] : DJ.BENKHATTOU, A.KADIRE, « Amélioration énergétique d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Master en Electrotechnique industriel, université KASDI MERBAH, Ouargla, 2018.

[3] : H.DAHMANI, M.BOUZAIZA ; « Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation », Mémoire de Master en Electrotechnique industriel, université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou, 2017.

[4] : Cellules et technologies photovoltaïque –trans- énergie, l'énergie du développement durable, 2017.

[5] : <http://physiques.univce.fr/sem6/2011-2012/PageWeb/PT/Cellule/silicium.html>

Site internet consulté le 02 mai 2023.

[6] : R.OUGHLIS, A.MOUHOUBI, « Contribution à la modélisation et la simulation d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Master en Electrotechnique industriel, université ABDRAHMANE MIRADE, Bejaia, 2021.

[7] : B.ABDELGHANI, « Modélisation et simulation d'un pompage photovoltaïque », Mémoire de Master en Electromécanique, université Baji Mokhtar, Annaba, 2018.

[8] : http://sti2d.patgue.com/SitePV/RessourcePV/Cellule_solaire_module_solaire.pdf

Site internet : La fabrication des cellules photovoltaïque, 01/02/2017.

[9] : S.ZAIRI, S.BOUBIADA, « Etude et dimensionnement d'un centrale photovoltaïque », Mémoire de Master en Electrotechnique, université Mohamed Khider, Biskra, 2020.

- [10] : Sciences et technologies B-N°26 Décembre (2007), Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque » reçu le 15/01/2005 et accepté le 03/09/2007, université Mentouri, Constantine, Algérie, 2007.
- [11] : Cours énergie solaire photovoltaïque, Dr.S.BELAID, université A.MIRA de BEJAIA, 2014/2015.
- [12] : B.MOULAY, I.KHENE, « Algorithmes de poursuite de point de puissance maximale pour les systèmes photovoltaïque », Mémoire de Master en Automatique et système, université de Ghardaia, 2018.
- [13] waide, P.and Brunner, C.V.2011 Energy-efficiency Policy opportunities for electric motor driven
- [14] Cahier Technique Schneider Electric n°207 E. Gaucheron édition juin 2004
- [15] L. Mokhnache/ U. Batna2. Cours de maintenance industrielle License ELT
- [16] Livre de Motorisation Les différents types de moteurs électriques . Francois MARTIN.Ellipses .Technosup.03/20201
- [17] P.Zimmerman(Robert Bosch GmbH)<<Electronically Commutated D.C.Feed Drives for Machines Tools>>, dans Proceeding of PCI Motorcon,septembre 1982.
- [18] « Padmaraja Yedamale, Microchip Technology Inc, Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. », site <http://www.microchip.com>.
- [19] Brushless DC Motor Commutation Using Hall-Effect Sensors SLVAEG3B-AUGUST 2019-REVISED NOVEMBER 2020
- [20] <https://www.electromecanique.net/2015/01/principe-de-fonctionnement-d'un-moteur.html>
- [21] Université Mouhamed Boudiaf_M'sila.Mémoire de fine étude de Master présenté par N.A 2017/2018
- [22] Journal of Magnetism and Magnetic Materials in March 2007
- [23] Kielce University of Technology, Departement of Electrical Machines and Mechatronic Systems Roman NADOLSKI, Jan STASZAK, Marek JASKIEWICZ 2012.
- [24] Technical Manual Series: Types of Brushless Motors by Johann Tang May 21,2021
- [25] <https://matlabpourtous.com/2022/Modélisation-du-Moteur-Brushless>

- [26] [https://parvalux.com/2024/Electric Motors](https://parvalux.com/2024/ElectricMotors).
- [27] Dr M. Rezig Université Mohamed Khider de Biskra 2019-2020
- [28] Pompe et stations de pompage . Pr Joel M.Zinsalo 1989
- [29] [www.sintechpumps.com/17/07/2018/Pompes industrielles](http://www.sintechpumps.com/17/07/2018/Pompes_industrielles)
- [30] BASCALBIGOT, "Cours:Les pompes".
- [31] "Les Pompes ".TOTAL Manuel de Formation:EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Dernière Révision:13/04/2007
- [32] Pompes hydraulique Electriques/17 Octobre2020/dans News/ par Jessica Barigazzi
- [33] DDF Loo, EM Wright, TZeuthen -The Journal of physiology,2002-Wiley Online Library
- [34] G Wang, K Kiamehr, L Song-Energy and Buildings, 2016-Elsevier
- [35] [www.aiguapres.es13 juin,2023/pompes à eau](http://www.aiguapres.es13_juin,2023/pompes_à_eau)
- [36] www.motralec.com Le Spécialiste en pompes et moteurs électriques
- [37] BERNARD,Techniques d'ingénieur (B 4320) Pompes Volumétriques pour Liquides,PARIS.
- [38] www.pompezanni.it /17Oct /2020
- [39] A.DICHE , K. GHEDASMI(université de Bejaïa)«Etude d'un système de pompage photovoltaïque» Mémoire de fin d'étude en Génie Électrique et Informatique Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU 2012.

