



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel



جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master 2
Filière : Électrotechnique
Spécialité : Commande électrique

Thème

**Implémentation des techniques de
maximisation de puissance pour contrôler un
système de pompage photovoltaïque.**

Réalisé par : - Bourmada Abdelhafid
- Ghaoui Haroun

Soutenu le 18 / 06 / 2023 **Devant le jury composé de:**

Dr. Menadi Abdelkarim	Président	Université Abbes Laghrou- Khenchela
Dr. Boutabba Tarek	Encadreur	Université Abbes Laghrou- Khenchela
Dr. Saidi Abdelkader	Examineur	Université Abbes Laghrou- Khenchela

Promotion 2022/2023



Remerciements :

Avant tout nous tenons à remercier « الله » , qui nous a incités à acquérir le savoir et qui m'aide à terminer mon travail.

Nous remercions aussi l'encadrante de ce mémoire, Monsieur Boutabba Tarek pour nous avoir offert l'occasion d'effectuer ce mémoire.

Nous tenons ensuite à remercier nos parents pour le soutien inconditionnel dont ils ont fait preuve. Merci pour le soutien financier, moral, psychologique et matériel. Si nous sommes ici aujourd'hui, c'est grâce à vous!

Nous remercions également toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à l'élaboration de ce mémoire. Mener à bien un projet de thèse est un exercice difficile, exigeant un fort investissement, mais apportant nécessairement, en retour, un sentiment de satisfaction du à l'accomplissement réussi d'un travail.

Enfin, nous remercions tous nos amis et tous nos camarades de promotion pour les années passées ensemble, dans les meilleurs moments comme dans les pires.



Dédicace :

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*À mes chères sœurs , pour leurs encouragements permanents, et leur soutien
moral,*


À mes chers frères , pour leur appui et leur encouragement,

*À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours
universitaire,*

À tous mes proches.

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de
votre soutien infailible, Merci d'être toujours là pour moi.*

Abdelhafid (Hafa . ^^)





Dédicace :

À ma mère et mon père qui m'ont donné naissance et l'amour ; ce que je ne pourrais jamais exprimer leurs sacrifices, leur soutien moral et physique le long de mes années d'études.

À Mes très chères sœurs.

À Mes très chers frères.

À Toute ma famille.

À Tous mes amis.

Tous ceux que me sont chers.

Haroun

Résumé :

*L'objectif de ce mémoire est d'assurer la commande **poursuite solaire avec pompage dans système photovoltaïque.***

Afin d'augmenter l'efficacité des panneaux solaires flottants, un moyen consiste à suivre l'énergie solaire. Ces méthodes permettent d'aligner la surface des panneaux photovoltaïques sur l'angle d'incidence de l'énergie solaire, après le mouvement du soleil tout au long de la journée ou au fil des saisons dans les plans d'eau, augmentant ainsi les performances du système de production d'énergie photovoltaïque. Pour modéliser, analyser et simuler le fonctionnement du système de commande de pompe à eau immergée, l'outil Simulink sera utilisé dans l'application Matlab pour l'étude théorique et l'utilisation d'ordinateurs industriels et d'éléments électroniques avec leurs applications côté application. Nous avons pu incarner un mini-projet pour incarner l'idée de panneaux solaires flottants avec le tracker solaire grâce à notre utilisation d'éléments électroniques et de panneaux solaires et Arduino de méga et deux pompes à eau avec L298d afin de contrôler les pompes et de distribuer et diviser l'électricité en plus de l'utilisation d'un transformateur de tension 12V type 7812 et de type Hacheur boost pour augmenter l'énergie générée par les panneaux solaires et l'utilisation de deux résistances optiques qui permettent le suivi solaire à travers la différence entre eux avec l'intervention du programme Arduino et en plus de tout cela, nous avons ajouté une lampe pour indiquer la présence de Nutrition et consommation, et avec ce dernier, nous disons que nous sommes prêts à changer l'idée de la fin de l'obtention du diplôme au début de l'ouverture des horizons pour le troisième cycle en incarnant cette idée sur le terrain avec la capacité de développer le système.

ملخص:

الهدف من هذه الأطروحة هو ضمان التحكم في تتبع الطاقة الشمسية مع الضخ في النظام الكهروضوئي.

من أجل زيادة كفاءة الألواح الشمسية العائمة ، تتمثل إحدى الطرق في تتبع الطاقة الشمسية. تتيح هذه الطرق إمكانية محاذاة سطح الألواح الكهروضوئية مع زاوية حدوث الطاقة الشمسية ، بعد حركة الشمس طوال اليوم أو طوال الفصول في المسطحات المائية ، وبالتالي زيادة أداء نظام توليد الطاقة الكهروضوئية. لنمذجة وتحليل ومحاكاة تشغيل نظام التحكم في مضخة المياه المغمورة ، سيتم استخدام أداة Simulink في تطبيق Matlab للدراسة النظرية واستخدام أجهزة الكمبيوتر الصناعية والعناصر الإلكترونية مع تطبيقاتها. جانب التطبيق.

تمكنا من تجسيد مشروع صغير لتجسيد فكرة الألواح الشمسية العائمة مع جهاز تعقب الطاقة الشمسية من خلال استخدامنا للإلكترونيات وألواح الطاقة الشمسية الضخمة وألواح Arduino ومضختين للمياه مع L298d للتحكم في المضخات وتوزيع الكهرباء وتقسيمها بالإضافة إلى استخدام محول جهد 12 فولت نوع 7812 ونوع تعزيز المروحية لزيادة الطاقة المتولدة من الألواح الشمسية واستخدام مقاومين بصريين يسمحان بالتتبع الشمسي من خلال الفرق بينهما بتدخل برنامج اردوينو وفي بالإضافة إلى كل هذا أضفنا مصباحًا للدلالة على وجود التغذية والاستهلاك ، ومع الأخير نقول إننا مستعدون لتغيير الفكرة من نهاية التخرج إلى بداية فتح آفاق للدراسات العليا من خلال تجسيدها. هذه الفكرة في المجال مع القدرة على تطوير النظام.

Abstract :

The objective of this thesis is to ensure **the solar tracking control with pumping in photovoltaic system.**

In order to increase the efficiency of floating solar panels, one way is to track solar energy. These methods make it possible to align the surface of the photovoltaic panels with the angle of incidence of solar energy, after the movement of the sun throughout the day or throughout the seasons in water bodies, thus increasing the performance of photovoltaic power generation system. To model, analyze and simulate the operation of the submerged water pump control system, the Simulink tool will be used in the Matlab application for the theoretical study and the use of industrial computers and electronic elements with their applications. application side.

We were able to embody a mini project to embody the idea of floating solar panels with the solar tracker through our use of electronics and mega solar and Arduino panels and two water pumps with L298d to control the pumps and to distribute and divide the electricity in addition to the use of a 12V voltage transformer type 7812 and Chopper boost type to increase the energy generated by the solar panels and the use of two optical resistors which allow solar tracking through the difference between them with the intervention of the Arduino program and in addition to all this we have added a lamp to indicate the presence of Nutrition and consumption, and with the latter we say that we are ready to change the idea from the end of graduation to the beginning of the opening of horizons for the postgraduate by embodying this idea in the field with the capacity to develop the system.

Listes des figures :

Figure N°	Titre de la figure	Page
Figure I.1	Le système photovoltaïque flottante	3
Figure I.2	Centrales flottantes installées dans le monde jusqu'en 2017	7
Figure I.3	Système photovoltaïque dans l'océan	8
Figure I.4	Modules implantés sur une membrane non perméable conçue pour résister aux contraintes mécaniques et à l'exposition au soleil. Collecteurs cristallins de silicium à double verre installés sur une couverture.	9
Figure I.5	Système PV avec quatre îlots circulaires. (a) Il a une résistance mécanique. (b) Ilots circulaires de 500 kWc.	10
Figure I.6	Système photovoltaïque flottant sur canal d'irrigation	11
Figure I.7	Système photovoltaïque flottant sur lac hydroélectrique	12
Figure I.8	Avantages de Réduction de l'occupation des sols	13
Figure I.9	Réduction de l'occupation des sols	13
Figure I.10	Représentation schématique d'une centrale photovoltaïque flottante avec ses principaux composants	17
Figure I.11	Tracker solaire	18
Figure I.12	Système avec suivi (a) avec confinement et (b) sans confinement (avec corde)	19
Figure I.13	Panneau solaire photovoltaïque immergé	19
Figure I.14	Système photovoltaïque immergé pour la protection contre les ondes. (Recherche uniquement avec intérêt militaire)	20
Figure I.15	Configurations des flotteurs en Corée	22
Figure I.16	Types de flotteurs et aménagements installés	22

	dans la zone d'essai (SERIS)	
Figure I.17	Système d'ancrage	26
Figure I.18	Schéma du système d'ancrage et détail des ressorts élastiques. schéma amarrage avec ressorts élastiques. ressort élastique fabriqué par Seaflex.	27
Figure I.19	Répartition de la capacité totale installée des centrales hydroélectriques réversibles (2017)	29
Figure I.20	Pompe immergée	33
Figure I.21	La pompe volumétrique	33
Figure I.22	pompe centrifuge	34
Figure II.1	Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général	36
Figure II.2	Variation saisonnière du rayonnement solaire	37
Figure II.3	La sphère céleste	38
Figure II.4	Les coordonnées géographiques	39
Figure II.5	La déclinaison du soleil en fonction des jours	39
Figure II.6	les coordonnées horaires	40
Figure II.7	Les coordonnées horizontales	41
Figure II.8	Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée	43
Figure II.9	les différentes zones énergétiques dans l'Algérie	44
Figure II.10	Représentation du degré de déplacement du suiveur solaire sur un axe.	45
Figure II.11	Représentation du degré de déplacement du suiveur solaire à deux axes	45
Figure II.12	Fonction de transfert du pompe	46
Figure II.13	:Vue d'ensemble de la simulation de commande de servomoteur	47
Figure II.14	Bloc Table de consultation nD	48
Figure II. 15	Représentation de l'erreur et du contrôle logique d'un système simulé d'automate fini	49

Figure II.16	Commande logique d'un système de machine à états finis simulé	49
Figure II.17	Contrôle logique du système simulé de la machine à états finis	50
Figure II.18	Fonction de transfert 1.	51
Figure II.19	Fonction de transfert 2.	51
Figure II.20	Fonction de transfert 3.	52
Figure II.21	Fonction de transfert, paramètres constants et étape de rétroaction du système	53
Figure II.22	Position du panneau par rapport à la position solaire.	54
Figure II.23	Position solaire, position du panneau et impulsion (PWM).	54
Figure II.24	Position solaire, position des panneaux et erreur simulée	55
Figure II.25	Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie	56
Figure II.26	Structure d'un système autonome	57
Figure II.27	Schéma synoptique du système photovoltaïque	58
Figure II.28	Processus de fabrication des modules photovoltaïques au silicium	60
Figure II.29	schéma équivalent à deux diodes	62
Figure II.30	Schéma équivalent à deux diodes sans résistance shunt	63
Figure II.31	Le convertisseur BOOST.	68
Figure II.32	schéma de l'Onduleur	68
Figure II.33	schéma de l'Onduleur triphasé	69
Figure II.34	Principe de la première technique MPPT numérique	71
Figure II.35	Caractéristique PPV (VPV) d'un panneau solaire.	73
Figure II.36	Organigramme de l'algorithme MPPT de la perturbation & observation	74

Figure III.1	La carte Arduino UNO Rev3	79
Figure III.2	les différentes broches de la carte ARDUINO UNO	80
Figure III.3	Atmega328	80
Figure III.4	Panneau solaire 5W - 9V (Welion)	81
Figure III.5	LDR	81
Figure III.6	Fonctionnement des capteurs	82
Figure III.7	pompe à eau de 12V	82
Figure III.8	Module L298N	83
Figure III.9	Schéma synoptique de la carte de commande.	84
Figure III.10	Capteur de courant ACS712	85
Figure III.11	capteur de tension pour Arduino	86
Figure III.12	Convertisseur BOOST SZ-BT07CCCV	87
Figure III.13	LCD 16x2	87
Figure III.14	Plaque d'essai (breadboard)	88
Figure III.15	Fils de connexion	88
Figure III.16	Simulation d'un Module PV et MPPT et convertisseur avec deux pompe par Matlab	89
Figure III.17	Courbe du P&O MPPT	90
Figure III.18	Courbe Du panneau solaire	90
Figure III.19	Courbe de la pompe 1	91
Figure III.20	Courbe de la pompe 2	91
Figure III.21	Programme Arduino	94
Figure III.22	le branchement de la maquette. (avec Proteus)	95
Figure III.23	Organigramme de notre système	96
Figure III.24	Notre maquette de poursuite solaire avec pompage dans système photovoltaïque.	98

Listes des tableaux :

Tableau N°	Titre du tableau	Page
Tableau I.1	Premières centrales photovoltaïques flottantes [4]	5
Tableau I.2	Expansion des centrales photovoltaïques flottantes dans le monde	6
Tableau I.3	Fabricants de flotteurs dans le monde	23
Tableau I.4	Capacité installée mondiale d'hydroélectricité réversible à l'horizon 2016	29
Tableau I.5	Installations installées au cours de la dernière année dans le monde	30
Tableaux I.6	Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges	34
Tableau II.1	La différence entre les batteries PV	63
Tableau II.2	Contrôleur de charge PWM et Contrôleur de charge MPPT	66
Tableau II.3	TECHNIQUES MPPT	72
Tableau III.1	L298N Module Pin Configuration	83

Liste d'abréviations :

CPF Centrales photovoltaïques flottantes

IPF Installation photovoltaïque flottante

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

MPPT : Maximum Power Point Tracking.

P&O : Perturbation et Observation.

DC : Courant Continu (Direct Current).

AC : Courant Alternatif (Alternative Current).

LDR : Photo resistance



Table des matières





Titre	Page
Introduction Générale	1
CHAPITRE I : État d'art sur les systèmes photovoltaïque flottante	
I.1 Introduction	3
I.2 Situation de l'énergie solaire en Algérie	3
I.3 État de l'art de la technologie photovoltaïque flottante	8
I.3.1.1 Système photovoltaïque dans l'océan	8
I.3.1.2 Système photovoltaïque flottant sur canal d'irrigation	10
I.3.1.3 Système photovoltaïque flottant sur lac hydroélectrique	11
I.3.1.3.1 Réduction de l'occupation des sols	12
I.3.1.3.2 Réduction de l'évaporation	14
I.3.1.3.3 Coût d'exploitation et de maintenance	15
I.3.1.3.4 Ombrage	16
I.3.1.3.5 installation et Temps d'installation	16
I.3.1.3.5 installation et Temps d'installation	18
I.3.2 Innovations dans la technologie des systèmes photovoltaïques flottants	18
I.3.2.1 Système solaire flottant avec suivi	18
I.3.2.2 Systèmes photovoltaïques flottants immergés	19
I.3.2.3 Différents types de flotteurs (matériaux et géométrie)	20
I.3.2.4 Fabricants de flotteurs dans le monde	22
I.3.2.5 Système d'ancrage	25
I.3.4 Applications potentielles d'un système photovoltaïque hybride flottant un réservoir hydroélectrique dans le monde	27
I.3.5 Considérations sur la mise en œuvre de centrales photovoltaïques flottantes dans les lacs hydroélectriques en Algérie.	31
I.4 Les différentes pompes utilisées dans les systèmes de pompages	32
I.4.1 Les pompe à refoulement	32
I.4.2 Pompes volumétriques	33
I.4.3 Pompes centrifuges	33
I.4.4 Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges	34
I.5 conclusion	35



CHAPITRE II : Modélisation et commande du systèmes photovoltaïque avec poursuit solaire	
II.1 Introduction	36
II.2 Le Rayonnement solaire	37
II.2.1 Mouvement du Globe terrestre	37
II.2.2 La sphère céleste	37
II.2.3 Les coordonnées célestes	38
II.2.3.1- Les coordonnées géographiques	38
II.2.3.1.1- Longitude	38
II.2.3.1.2- Latitude	38
II.2.3.2- Les coordonnées horaires	39
II.2.3.2.1- La déclinaison solaire	39
II.2.3.2.2-Angle horaire	40
II.2.4- Les coordonnées horizontales	40
II.2.4.1- Hauteur angulaire du soleil	40
II.2.4.2- Azimut	41
II.2.5- Temps solaires	41
II.2.5.1- Temps solaire vrai	41
II.2.5.2- Temps solaire moyen	41
II.2.6- Angle horaire de coucher du soleil :	42
II.2.7- Le rayonnement solaire	42
II.2.7.1- Types de rayonnements	42
II.2.7.1.1- Rayonnement direct	42
II.2.7.1.2 - Rayonnement diffus	42
II.2.7.1.3- Rayonnement global	42
II.2.8- Rayonnement en Algérie :	43
II.3 SUIVI SOLAIRE	44
II.3.1 Système à axe unique	44
II.3.2 Système à deux axes	45
II.3.4 Résultats des simulations :	46
II.3.4.1 Fonction de transfert du pompe	46
II.3.4.2 MODÉLISATION DES POMPES 12 V DANS MATLAB-	47

SIMULINK :	
II.3.4.3 PARAMETRES D'ENTREE	48
II.3.4.4 POSITION DU SOLEIL	48
II.3.4.5 MISE EN ŒUVRE DU CONTRÔLE DE LA LOGIQUE DE MACHINE À ÉTATS FINIS ET PWM	48
II.3.4.6 FONCTION DE TRANSFERT	50
II.3.4.7 PARAMÈTRES DE SORTIE DE SIMULATION	53
II.4.1 Conception du système photovoltaïque	56
II.4.1.1 Systèmes PV autonomes	56
II.4.1.2 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	57
II.4.2 Modèles de composants pour système PV autonome	58
II.4.2.1 Systèmes photovoltaïques	58
II.4.2.1.1 Modélisation du générateur PV	60
II.4.2.1.1.1 Modèle à double diode	60
II.4.2.1.1.2 Modèle à deux diodes sans résistance shunt:	62
II.4.3.1. Batterie	63
II.4.3.1.1 Notions générales sur la batterie	64
II.4.3.2 Contrôleur	66
II.4.3.4 Bus photovoltaïque	67
II.4.3.5 Convertisseur boost	67
II.4.3.6 Onduleur	68
II.4.3.6.1 Onduleur triphasé	69
II.4.3.7 La Charge	69
II.4.4 Contrôle du système photovoltaïque (algorithme MPPT)	69
II.4.4.1 Examen des techniques de poursuite du point de puissance maximale	70
II.4.4.2 Techniques MPPT	71
II.4.4.2.1 Perturber et observer (P&O)	72
II.4.4.2.2 Inductance Incrémentale (IC)	75
II.4.4.2.3 Mode glissant MPPT	75
II.5 Conclusion .	76
CHAPITRE III : Réalisation expérimental	

III.1. Introduction	78
III.2. Description du système	78
III.2.1 La carte Arduino UNO Rev3 :	78
III.2.3 Panneau solaire 5W - 9V pour pompe 9-12V DC	80
III.2.4 Photo résistance :	81
III.2.5 pompe à eau de 12V	82
III.2.6 Module L298N - Contrôler Moteur :	82
III.2.7 Système de commande à réalisé	84
III.2.8 Capteur de courant ACS712	84
III.2.9 Capteur de tension	85
III.2.10 Convertisseur élévateur de tension SZ-BT07CCCV 1200W 20A DC CONVERTISSEUR BOOST STEP UP MODULE D'ALIMENTATION ENTRÉE 10-60V SORTIE 12-83V	86
III.2.11 l'afficheur LCD 16x2 :	87
III.2.12 Plaque d'essai (breadboard) :	88
III.2.13 Fils de connexion :	88
III.3. Les résultats expérimentale avec Matlab et (poteus) Teste de robustesse	89
III.3.2 : Les Courbes	90
III.3.3 Programme Arduino :	92
III.3.4 Schéma de commande : (avec Proteus)	95
III.3.5 Organigramme de notre système	96
III.4. Conclusion	98
Conclusion générale	99
Annexe	101
Références Bibliographies	111



Introduction Générale



Introduction Générale :

Pour cela, le domaine d'électrotechnique, l'instrumentation est l'un des principaux piliers du développement de la technologie. Elle constitue un vaste domaine qui regroupe principalement les équipements de terrain et les dispositifs de contrôle qui permettent de mesurer et de contrôler les différents paramètres physiques.

Une poursuite solaire avec pompage est un système qui utilise des panneaux solaires photovoltaïques pour générer de l'électricité, tandis qu'un mécanisme de pompage suit le mouvement du soleil pour maximiser la production d'énergie. Ce système est également connu sous le nom de suivi solaire à un ou deux axes.

L'idée principale de la poursuite solaire est d'optimiser l'angle d'incidence des panneaux solaires par rapport au soleil tout au long de la journée. Les panneaux solaires fixes sont généralement installés à un angle fixe, mais ils ne sont parfaitement alignés avec le soleil que pendant une période limitée chaque jour. En utilisant un mécanisme de poursuite solaire, les panneaux peuvent être orientés de manière à suivre la trajectoire du soleil, augmentant ainsi leur efficacité de conversion de l'énergie solaire en électricité.

L'utilisation d'un système de pompage dans une installation photovoltaïque avec poursuite solaire peut présenter plusieurs avantages. Tout d'abord, le suivi solaire augmente la quantité d'énergie produite par les panneaux solaires par rapport à une installation fixe, ce qui peut augmenter les rendements globaux. Ensuite, le système de pompage peut être utilisé pour refroidir les panneaux solaires, ce qui peut améliorer leur efficacité en réduisant la température de fonctionnement. La chaleur peut diminuer la performance des panneaux solaires, donc en les maintenant à une température plus basse, on peut augmenter leur productivité.

Il existe différentes configurations pour les systèmes de poursuite solaire avec pompage, y compris les systèmes à un axe et à deux axes. Les systèmes à un axe suivent généralement le mouvement du soleil d'est en ouest, tandis que les systèmes à deux axes peuvent également suivre l'élévation du soleil,

permettant une meilleure capture de l'énergie solaire tout au long de la journée. Cependant, il convient de noter que les systèmes de poursuite solaire avec pompage sont généralement plus complexes et plus coûteux à mettre en œuvre par rapport aux installations photovoltaïques fixes. Ils nécessitent également un entretien régulier pour assurer leur bon fonctionnement. Avant d'opter pour ce type de système, il est important de considérer attentivement les coûts, les avantages et les contraintes spécifiques à votre situation.

Ce présent travail « Maquette » est réalisé au sein du laboratoire du département d'électronique, faculté d'électrotechnique, Université Abess laghrour 'Khenchela', et Laboratoire LSPIE Batna. Il s'inscrit dans le contexte de réalisation de **poursuite solaire avec pompage dans système photovoltaïque** L'objectif de ce projet est la réalisation du fonctionnement d'un système de pompage photovoltaïque sous le logiciel ARDUINO. Centrifuge

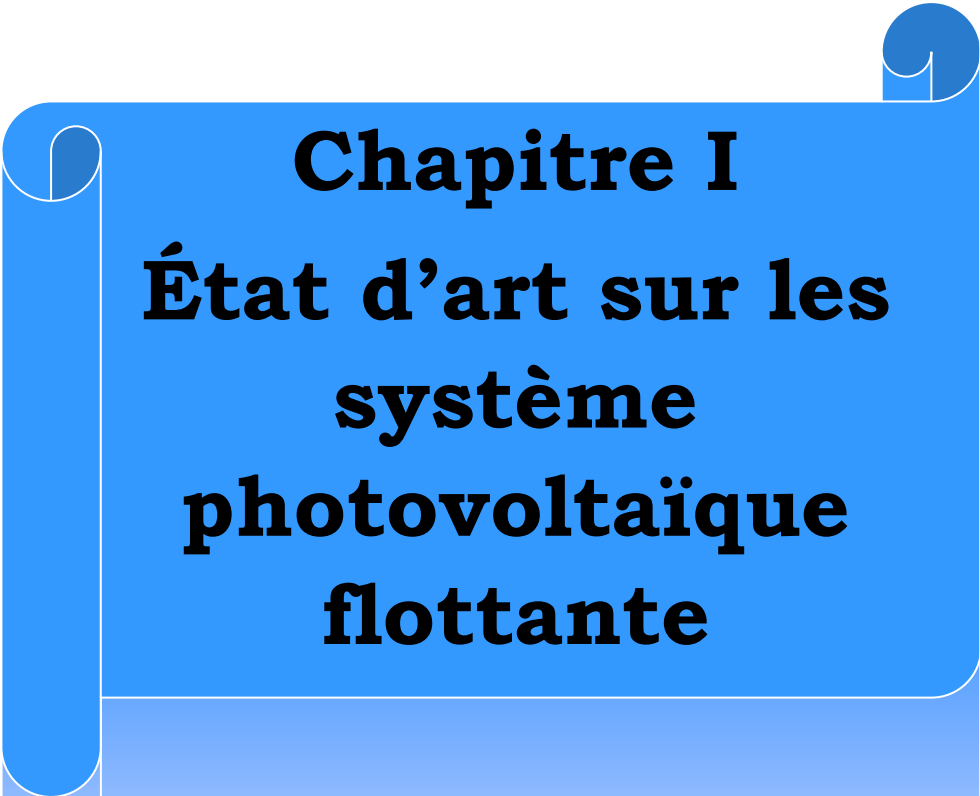
Pour ce faire, nous travail est devisé en trois chapitres :

Dans le chapitre I nous présentons solaire État d'art sur les système photovoltaïque flottante

Dans le chapitre II Modélisation et commande du systèmes photovoltaïque avec poursuit

Le chapitre III sera consacré à la partie expérimentale pour la validation de la poursuit solaire avec pompage centrifuge d'un système photovoltaïque flottant. Dans ce chapitre on a deux parties : la partie conception (avec logiciel Proteus) et la deuxième partie est la réalisation pratique. Nous commençant par la partie conception où la description de la carte ARDUINO UNO qui a le rôle de commander les composants de la puissance (Bridge L292, l'affichage avec LCD 16x2,..), ainsi que sa programmation. En suit, on va faire la description des différent composant de la partie puissance (Panneaux.....). Dans la deuxième partie où la validation expérimentale de notre travail va être discutée.

Ce travail sera conclue par une conclusion générale.



Chapitre I
État d'art sur les
systeme
photovoltaïque
flottante

I.1 Introduction :

Les systèmes photovoltaïques flottants, également connus sous le nom de centrales solaires flottantes, sont des installations solaires qui flottent sur des plans d'eau tels que des lacs, des réservoirs, des bassins de rétention ou des barrages.

les systèmes photovoltaïques flottants offrent de nombreux avantages, notamment la conservation de l'espace terrestre, l'amélioration du rendement énergétique, la réduction de l'évaporation et la possibilité d'utiliser des plans d'eau inutilisés. Alors que la technologie continue de progresser, on peut s'attendre à ce que les installations solaires flottantes jouent un rôle de plus en plus important dans le paysage énergétique mondial.

Dance ce chapitre un état d'art sur les systèmes photovoltaïque flottantes
Voici l'état de l'art actuel sur les systèmes photovoltaïques flottants



Figure I.1 : Le système photovoltaïque flottante

I.2 Situation de l'énergie solaire en Algérie

L'Algérie a un assez bon potentiel technique et économique pour exploiter l'énergie solaire dans la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord , car elle est exposée à environ 170 térawatts par an .

En 2011, l'Algérie a lancé la construction de sa première centrale solaire à Hassi Rmel . Cette centrale combinée produit environ 25 MW couplée à une

turbine à gaz produisant environ 130 MW. En outre, en 2011, l'Algérie a commencé à travailler sur un programme national de développement des énergies renouvelables, notamment les cellules solaires. PV), systèmes solaires à concentration (CSP), éoliennes.

Le programme vise à apporter 12 gigawatts au réseau à partir des seules énergies renouvelables d'ici 2030. [1]

En résumé, l'Algérie a adopté une approche ambitieuse en matière d'énergie solaire et a réalisé des progrès significatifs dans la promotion de cette source d'énergie renouvelable. Cependant, il reste encore du travail à faire pour exploiter pleinement le potentiel solaire du pays et réaliser ses objectifs de transition énergétique.

I.3 État de l'art de la technologie photovoltaïque flottante

Le procédé du solaire flottant ou du photovoltaïque flottant consiste en la mise en place de panneaux photovoltaïques sur un plan d'eau, le plus souvent artificiel. Il permet notamment d'accroître les surfaces disponibles pour l'installation de telles centrales, mais aussi de rentabiliser des espaces peu intéressants pour la biodiversité, comme d'anciennes gravières.

Le principe d'une centrale solaire flottante est simple : des modules photovoltaïques classiques sont installés sur des flotteurs, attachés entre eux soit avec des structures en métal, soit avec d'autres flotteurs. Cet ensemble de modules crée des îlots, qui tiennent en place grâce à des ancres placées soit au fond du lac, soit en berge. Ces centrales flottantes sont installées en grande majorité sur des lacs de carrières, ou des plans d'eaux non utilisés.

L'application des centrales photovoltaïques flottantes (CPF) est relativement récente. Depuis 2007, ce type de technologie a commencé à être testé en Italie, aux États-Unis, en France, en Espagne, en Chine, Japon et Corée. Plus récemment, son application à grande échelle s'est beaucoup développée dans les pays Asiatiques en raison de la forte densité de population, des limites et de la concurrence dans le utilisation des terres, grande

disponibilité de masses d'eau pour son application et économies d'eau en réduisant l'évaporation [2,3]

Tableau I.1 : Premières centrales photovoltaïques flottantes [4]

Année	Pays	Ville	KW
2007	Japon	aïchi	20
2008	Etats-Unis	Californie	175
2008	Etats-Unis	Californie	30
2009	Italie	Bubano	500
2009	Espagne	Août	24
2009	Italie	Solarolo	20
2010	Italie	domaine viticole de Pétra	200
2010	Espagne	Août (extension)	300
2011	Italie	Lac Colignola	30
2011	Italie	avetrana	20
2011	France	Piolenc	14
2011	Etats-Unis	Californie	350
2011	Etats-Unis	New Jersey	112
2012	Corée du Sud	Cheonju	20
2012	Corée du Sud	barrage de hap cheon	500
2012	France	Pommeraiie-sur- Sèvre	100
2013	Sigapour	bishan	5
2014	Japon	Okegawa	1 157

Tableau I.2 : Expansion des centrales photovoltaïques flottantes dans le monde [5]

Année	Pays	Ville	kW
2007	Japon	aïchi	20,0
2007	États-Unis	Californie	477,0
2008	États-Unis	Californie	175,0
2008	États-Unis	Californie	30,0
2009	Italie	Bubano	500,0
2009	Italie	Solarolo	20,0
2009	Espagne	Août	24,0
2010	Italie	domaine viticole de Pétra	200,0
2010	Espagne	Août (extension)	300,0
2011	France	Ville de Pyolenc	15,0
2013	Japon	Saitama	1 180,0
2013	Singapour	bishan	5,0
2014	Inde	Calcutta	10,0
2014	Japon	Saitama	2 000,0
2014	Japon	Saitama	696,0
2014	Japon	Yasugi	1 097,6
2014	Japon	hyōgo	850,0
2014	Japon	Maeno-Ike	848,0
2014	Japon	Kawagoe	696,2
2014	Japon	hyōgo	48,0
2014	Japon	hyōgo	40,0
2014	Japon	kagawa	6,0
2014	Japon	Shimané	1 098,0
2014	Thaïlande	yothatikan	5,4
2014	Thaïlande	Samut Songkhram	5,0
2014	Royaume-Uni	ville grave de guerre	200,0

2014	Royaume-Uni	MoutonsTerres	200,0
2015	Inde	Bengale-Occidental	10.0
2015	Japon	hyōgo	1 430,0
2015	Japon	hyōgo	1 200,0
2015	Japon	hyōgo	1 008,0
2015	Japon	Saitama	1 750,0

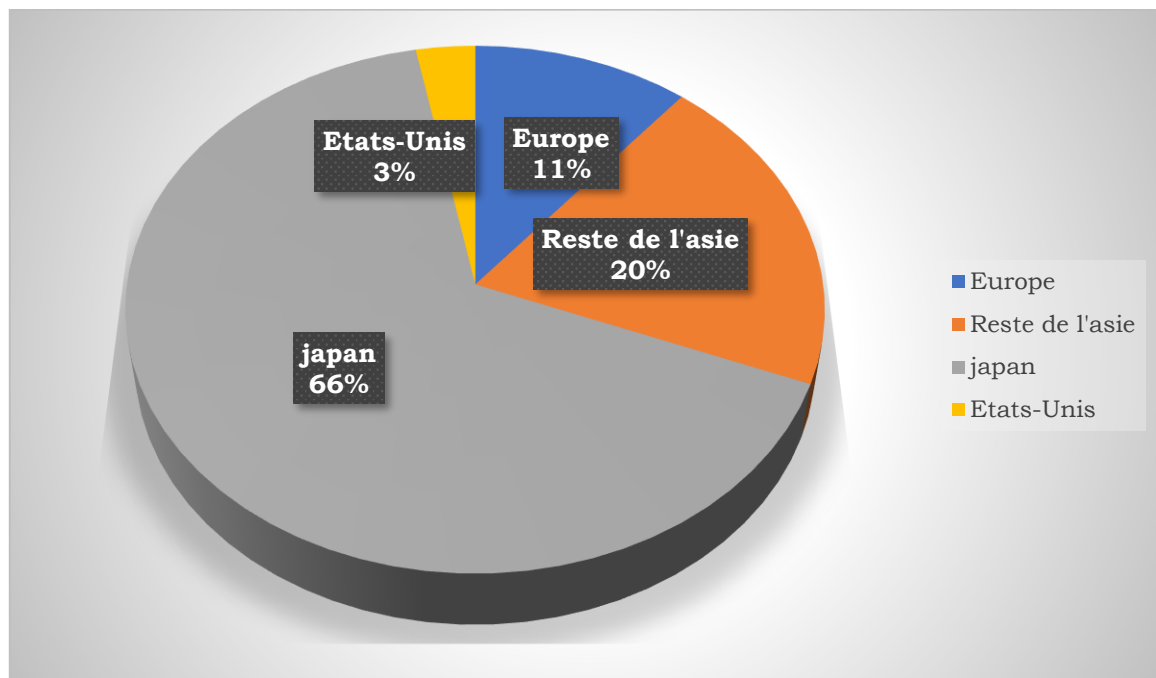


Figure I.2 : Centrales flottantes installées dans le monde jusqu'en 2017 [6]

Ci-dessous sont décrits les types de systèmes photovoltaïques flottants du point de vue du site d'installation, les caractéristiques, avantages et inconvénients des systèmes.

Le solaire flottant connaît un fort développement ces dernières années à travers le monde et les prévisions tablent sur une accélération de la croissance à moyen terme. Selon le cabinet Deloitte (2021), la capacité installée pourrait ainsi dépasser les 5 GW fin 2022 au niveau mondial et atteindre 13 GW d'ici 2025. Cette technologie offre l'avantage de rendre possible la valorisation de nouvelles surfaces, avec un minimum de conflits d'usage.[7]

I.3.1 Types de systèmes photovoltaïques flottants

Les systèmes solaires flottants peuvent être installés sur pratiquement n'importe quel corps de l'eau comme les océans, les lacs, les étangs, les réservoirs hydroélectriques, les canaux d'irrigation, traitement de l'eau, fermes piscicoles, barrages, barrages, etc. Voici une description de quelques types de systèmes selon le plan d'eau et les caractéristiques des installations.

I.3.1.1 Système photovoltaïque dans l'océan

Plus de 70% de la surface de la terre recouvre l'océan et d'autres plans d'eau. Ils reçoivent beaucoup d'énergie solaire. En utilisant technologie solaire photovoltaïque, ressources d'énergie solaire existantes peut être utilisé pour concurrencer la production d'électricité actuelle. Exigible à la rareté des terres, la plage est un environnement de plage qui peut profiter au maximum de la lumière du soleil tout au long de la journée et constitue un excellent choix pour planter des systèmes photovoltaïques (Figure I.3). Le chlorure de cadmium est le principal constituant de la photo cellules solaires voltaïques qui sont très toxiques et coûteuses, elles influencent la progression de la production et le coût des cellules solaires. L'eau salée contient du chlorure de magnésium, qui peut remplacer le chlorure de cadmium extrêmement toxique et coûteux.



Figure I.3 : Système photovoltaïque dans l'océan

L'installation de systèmes photovoltaïques en mer est plus compliquée qu'en eau douce, compte tenu des conditions extrêmes auxquelles le système est soumis, telles que : des mouvements et des vibrations causés par des vagues plus importantes, des traces d'eau salée sur le verre dans la surface du panneau, pertes électriques supplémentaires dues à de longs câbles, augmentation de la corrosion et dégradation causée par une forte teneur en sel [7].

Une proposition innovante concernant les IPF en mer a été présentée par la société Norwegian Ocean Sun, consistant à utiliser une couverture non perméable en une fine membrane polymère conçue pour résister aux contraintes mécaniques et au rayonnement solaire Selon [8] , comme le montre la Figure I.4 .



Figure I.4 : Modules implantés sur une membrane non perméable conçue pour résister aux contraintes mécaniques et à l'exposition au soleil.

Collecteurs cristallins de silicium à double verre installés sur une couverture. [9]

Les modules photovoltaïques sont fixés sur la couverture afin de permettre un bon contact chauffer avec de l'eau. Figure I.5 montre un projet de 2 MW (quatre trampolines) installé dans le Centrale photovoltaïque flottante de Banja, Albanie.

La solution présentée par la société OceanSun consiste en l'installation modulaire de l'usine avec trois configurations possibles de systèmes standards : avec 100 kWc, avec 200 kWc et avec 500 kWc en îlot circulaire.

Un système de 2 MW, par exemple, est assemblé en quatre unités de 500 kWc sur des îlots circulaires d'un diamètre de 72 m et d'une superficie d'environ 4 000 m². Comme le montre Figure I.5 .



Figure I.5 : Système PV avec quatre îlots circulaires. (a) Il a une résistance mécanique. (b) Îlots circulaires de 500 kWc. [10]

I.3.1.2 Système photovoltaïque flottant sur canal d'irrigation

Systèmes photovoltaïques installés comme toits dans les canaux d'irrigation présents certains avantages tels que : éviter l'évaporation, possibilité de générer de l'énergie électrique nécessaires à la répression des eaux, pour protéger l'accès des animaux au canal, entre autres.

Traditionnellement, les centrales solaires sont plantées au sol, ce qui nécessite une grande surface. Pour éviter d'obtenir d'énormes quantités de terre, l'idée d'installer des centrales photovoltaïques sur le canal est considéré comme neuf. Non seulement la déforestation a été évitée en éliminant l'utilisation des terres, mais la déforestation par l'embellissement de l'environnement a également été encouragée (Figure I.6).



Figure I.6 : Système photovoltaïque flottant sur canal d'irrigation

I.3.1.3 Système photovoltaïque flottant sur lac hydroélectrique

Le système de production d'énergie photovoltaïque flottant est une nouvelle idée, non mise en œuvre commercialement, et seul un nombre limité de projets de démonstration ont été mis en œuvre dans le monde) [11]

Il existe suffisamment de dispositifs de production d'énergie photovoltaïque dans de nombreuses régions du monde. Il n'y a pas assez de terres, principalement au Japon, à Singapour, en Corée du Sud, aux Philippines et dans de nombreuses autres îles. Japon, États-Unis, Corée du Sud, L'Australie, le Brésil, l'Inde et d'autres pays ont commencé à demander du photovoltaïque flottant. Cette demande pourrait s'étendre et s'étendre partout dans le monde. Les systèmes solaires photovoltaïques flottants peuvent être montés sur une surface aquatique telle que les océans, les lacs, les étangs, les réservoirs, les bassins d'irrigation, le traitement des eaux usées plantes, barrages et canaux. Selon le type de cellule solaire et les conditions météorologiques, l'électricité est utilisée. Le solaire restant le rayonnement est transformé en chaleur, ce qui augmente la température photovoltaïque[12,13]. La puissance de sortie de la cellule solaire change avec les changements de température. La facilité d'utilisation des modules photovoltaïques dépendant de la température, si une installation solaire système photovoltaïque est installé à la surface de l'eau en raison de l'effet de refroidissement de l'eau [14,15,16], la température ambiante en dessous de ce signe ne peut pas être reconnue. Si un cadre en aluminium est utilisé

pour supporter le module solaire photovoltaïque externe, la température de refroidissement de l'eau sera également augmenter, réduisant ainsi la chaleur globale du module PV (Figure I.7). La capacité normale du module solaire est supérieure de 11 % à la capacité moyenne des modules solaires posés au sol [17].



Figure I.7 : Système photovoltaïque flottant sur lac hydroélectrique

Farfan et Breyer (2018) ont présenté une vision optimiste de l'expansion de l'application hybridation des IPF et des centrales hydroélectriques sur la base de l'utilisation maximale de 25% des réservoirs dans le monde. Selon ses estimations, les réservoirs des barrages hydroélectriques pourraient abriter environ 4400 GW de centrales photovoltaïques flottantes et génèrent environ 6270 TWh. Mise en évidence comme principal avantage la flexibilité dans le fonctionnement des usines et le partage des raccordement aux réseaux de transmission, fonctionnant comme une « batterie virtuelle » au service des clients demande d'électricité. [18]

I.3.1.3.1 Réduction de l'occupation des sols

Les rendements des panneaux photovoltaïques flottants sont meilleurs qu'une installation au sol ou sur toit. Étant sur l'eau, les effets de réverbération du soleil sont très importants, ce qui leur permet d'avoir de meilleurs rendements.

Il y a beaucoup de désaccords sur la question de savoir si les panneaux solaires flottants sont plus efficaces que les centrales solaires terrestres.

CHAPITRE I État d'art sur les systèmes photovoltaïques flottants

Certains prétendent que l'eau refroidit les panneaux solaires, augmentant ainsi leur efficacité. D'autres soutiennent que l'eau réduit l'efficacité des panneaux en réfléchissant la lumière du soleil loin d'eux.

La vérité est que les deux arguments sont valables. Les panneaux solaires flottants, en revanche, se sont révélés dans des études environ 10 % plus efficaces que les centrales solaires terrestres. En effet, l'eau refroidit les panneaux, leur permettant de travailler plus efficacement. La principale motivation pour le propriétaire de déployer un système FPV est d'éviter d'occuper un terrain et de réduire l'évaporation de l'eau .



Figure I.8 : Avantages de Réduction de l'occupation des sols



Figure I.9 : Réduction de l'occupation des sols

I.3.1.3.2 Réduction de l'évaporation

Protège le plan d'eau d'une forte évaporation et économise l'eau.

La surface utilisable par une installation PV est calculée en appliquant un facteur d'aptitude qui est déterminée par une variété de contraintes socio-environnementales différentes.

Les panneaux solaires flottants peuvent certainement jouer un rôle en contribuant à des environnements plus sains. Avec les installations solaires flottantes, l'eau n'a pas seulement un effet de refroidissement sur les équipements solaires : elle fonctionne également dans l'autre sens. La structure flottante du panneau solaire ombrage le plan d'eau et réduit l'évaporation de ces étangs, réservoirs et lacs. Il s'agit d'un avantage particulièrement utile dans les zones sensibles à la sécheresse, car la perte d'eau par évaporation peut s'accumuler avec le temps et contribuer à une pénurie.

L'un des principaux facteurs qui impacte la gestion des ressources en eau dans un bassin hydrographique désigne la perte d'eau par évaporation dans les réservoirs de régularisation. UN L'évaporation est fonction de la superficie de ces réservoirs et des conditions météorologiques. Selon un rapport de l'Agence nationale de l'eau, [19] , l'évaporation dans le réservoirs est la deuxième plus grande dépense d'eau dans le pays, juste derrière l'irrigation dans l'agriculture, où le volume d'eau perdu par évaporation est plus de 5 fois celui nécessaire pour l'offre humaine .

Au niveau mondial, les résultats sont très prometteurs en raison des grandes surfaces de surface d'eau disponible et en raison de la possibilité de construire des structures flottantes qui sont plus compacts que les centrales photovoltaïques terrestres.[20] , utiliser seulement 1% des bassins naturels aurait déjà la surface nécessaire pour l'installation CPF capable de répondre à environ 25 % de la demande énergétique mondiale en 2024.

I.3.1.3.3 Coût d'exploitation et de maintenance

Les coûts d'E&M dans l'environnement aquatique ont des particularités qui doivent être la recherche et les adaptations des procédures utilisées à terre pour les activités de suivi, nettoyage périodique des modules, inspection thermographique, vérification périodique du niveau de saleté du système, vérifier les raccordements électriques, tracer la courbe IV des aménagements systèmes photovoltaïques, en réalisant des tests électriques et en respectant les normes d'inspection et de sécurité. Le milieu aquatique permet une plus grande facilité de nettoyage par rapport aux installations sur terre, il offre une réduction de la saleté sur le panneau en raison de la faible incidence de la poussière. Quelques les études d'encrassement des panneaux photovoltaïques indiquent des pertes de l'ordre de 5% selon environnement et humidité [21] .

En effet, une alimentation abondante en eau pour nettoyer la surface du panneau et la disponibilité de l'énergie permet une réduction des coûts de maintenance, en plus de les coûts de sécurité des actifs peuvent être réduits grâce à la proximité d'une centrale électrique centrale hydroélectrique, le tout contribuant à la réduction des coûts d'exploitation.

La corrosion, en particulier dans les environnements côtiers plus agressifs, peut affecter boîtes de jonction, onduleurs, câbles et toute autre structure de support métallique.

Outre le coût de construction, il faut tenir compte du coût d'entretien d'une centrale solaire flottante. Les réparations, les pièces de rechange et l'entretien de routine peuvent tous être inclus dans ces coûts. Lorsque tous ces coûts sont pris en compte, le coût de construction d'une centrale solaire flottante peut être important. La bonne nouvelle est qu'il existe de nombreux avantages (y compris des avantages en termes de coûts) tout au long de la durée de vie de la centrale solaire flottante. Temps d'installation

Les panneaux photovoltaïques flottants sont installés sur des plans d'eau peu ou pas du tout exploités. Ils permettent de capter les rayonnements solaires et de les transformer en électricité. Le prix d'une installation de panneaux flottants est de **117 DA/W**.

Le prix d'un panneau photovoltaïque flottant est compris entre **730000 DA** et **2900000 DA** et le coût d'une seule installation est de **117 DA/W**. En plus des coûts liés à l'installation, il faut compter le prix du loyer du plan d'eau si besoin.

I.3.1.3.4 Ombrage

Deux bénéfices sont attendus avec un ombrage de la surface de l'îlot photovoltaïque sur le miroir d'eau : économiser l'eau en réduisant l'évaporation et en réduisant prolifération d'algues. Il convient de mentionner que, d'autre part, l'ombrage dans les panneaux, avec grand impact sur la production d'énergie, est pratiquement éliminée si l'on considère positionnement de l'îlot photovoltaïque au milieu d'un plan d'eau situé plus loin des objets qui causent de l'ombre, comme les bâtiments et les arbres.

les impacts sur l'environnement seront étudiés à travers le suivi des aspects suivants : ichtyofaune et biologie halieutique, ichtyo plancton et jeunes formes, aspect limnologie, qualité de l'eau et macrophytes aquatiques. Considérant que les impacts les questions environnementales ont déjà été analysées, lorsque le lac artificiel a été formé au moment de la construction de l'usine hydroélectrique, il reste à rechercher les aspects aquatiques dus à l'ombrage de l'île de panneaux solaires au-dessus de l'eau.

I.3.1.3.5 installation et Temps d'installation

Les panneaux solaires sont installés sur des cubes flottants en plastique qui vont permettre aux panneaux photovoltaïques de flotter, le tout est ancré au fond du plan d'eau grâce à des blocs en béton. Ils seront ensuite câblés afin de transformer le courant continu en courant alternatif et produire de l'électricité.

Ils sont généralement mis à l'eau en îlots d'environ 10 panneaux solaires, ils sont ensuite tous rassemblés et installés pour former un seul et unique îlot pour capter l'énergie solaire.

Malgré les subventions, le solaire flottant représente moins de 0,5 % des installations solaires photovoltaïques mondiales et une part encore plus faible de l'ensemble de l'industrie des énergies renouvelables.

Plus des deux tiers de la surface de la terre sont recouverts d'eau, alors pourquoi limiter la croissance solaire à la terre. Penser au-delà!

❖ Temps d'installation

Le temps d'installation d'un système photovoltaïque flottant devrait être plus court que le temps nécessaire pour assembler un système de taille similaire sur le terrain. sans avoir besoin de terrassement ou effectuer d'autres opérations de fondation et de génie civil, le temps total de La préparation du système peut être réduite par rapport à une installation à terre. Par En revanche, la question de l'ancrage mérite une attention particulière.

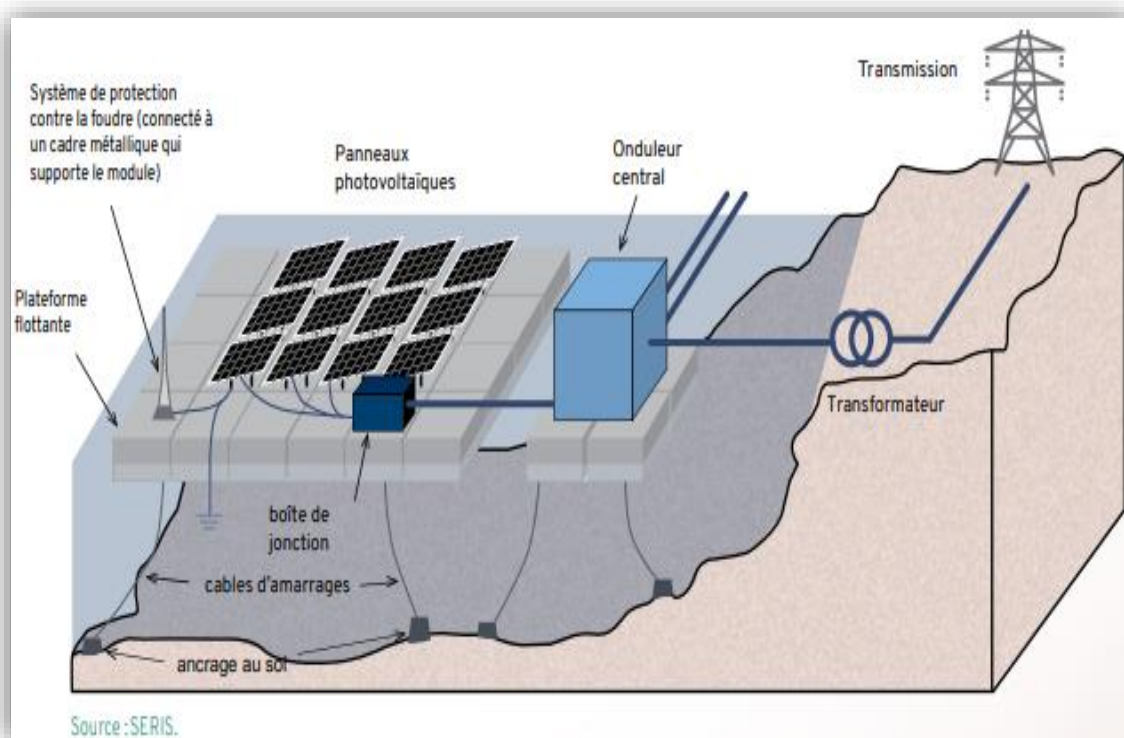


Figure I.10 : Représentation schématique d'une centrale photovoltaïque flottante avec ses principaux composants

I.3.2 Innovations dans la technologie des systèmes photovoltaïques flottants

En tant que principales innovations de la technologie PV flottante, les systèmes flottants se distinguent avec des systèmes de suivi et immergés, décrits ci-dessous.

I.3.2.1 Système solaire flottant avec suivi

Comme les panneaux solaires photovoltaïques au sol, les plates-formes flottantes peuvent également être conçues de manière à suivre le soleil sur un ou deux axes, l'utilisation de cette technologie permet d'augmenter la productivité de l'énergie. Un tracker solaire permet de capter les rayons solaires et les transformer en électricité, il a le même rôle que les panneaux solaires photovoltaïques. Son système de rotation lui permet d'orienter les modules solaires vers les rayonnements solaires et d'avoir une meilleure rentabilité. Le tracker solaire peut être une bonne alternative au panneau photovoltaïque flottant puisqu'il peut être utilisé dans de grandes surfaces.



Figure I.11 : Tracker solaire

Les systèmes photovoltaïques flottants avec suivi solaire permettent de surveiller la trajectoire du soleil tout au long de la journée par la rotation de l'îlot de modules photovoltaïques dans son angle azimutal. Deux techniques ont été présentées par Cazzanigaa et al. (2018) [24] : Suivi à l'intérieur d'une structure confinée ou non confinée. Dans le cas des systèmes avec confinement (Figure I.12), une île flottante est formatée comme cercle ou polygone et un moteur électrique fait tourner la plate-forme. Cette

technologie est coûteuse et par conséquent, il n'est pas encore présenté comme une application commerciale. Les systèmes sont limités à petites îles de 30 m de diamètre [24] .

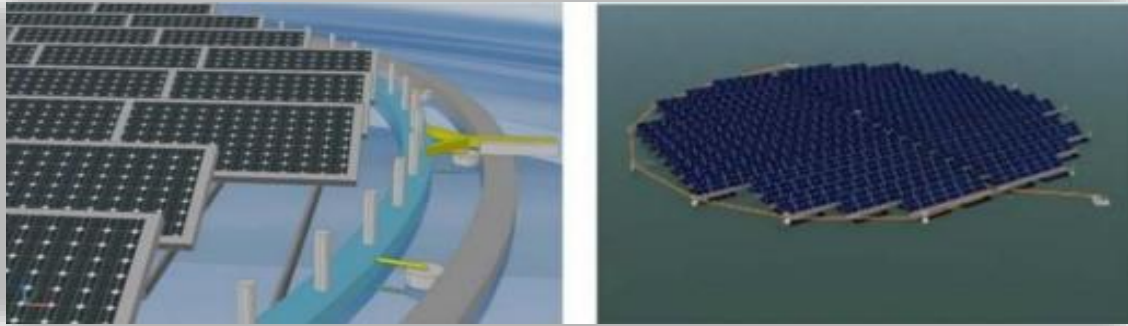


Figure I.12 : Système avec suivi (a) avec confinement et (b) sans confinement (avec corde) [24]

I.3.2.2 Systèmes photovoltaïques flottants immergés

Comme son nom l'indique, dans ce type de modules PV sont directement placés juste sous la surface de l'eau. En plus d'atteindre les températures de module plus basses, un avantage majeur de ce type est sa simple exigence d'amarrage en raison de la réduction des charges mécaniques et des contraintes internes moindres en raison de l'utilisation de modules flexibles par rapport aux modules PV conventionnels avec une structure de montage rigide. Une augmentation de la flexibilité de l'ensemble du système réduit le nombre de matériaux requis et facilite également le transport.



Figure I.13 : Panneau solaire photovoltaïque immergé

Dans ce type de système, les panneaux sont immergés dans l'eau, et il est important de respecter : effets de la baisse de température sur le module ; les pertes du rayonnement qui tombe sur la surface du panneau ; la position

par rapport à la surface de l'eau ; la colonne d'eau au-dessus du modules; le type d'eau dans laquelle le système est immergé - eau douce (lac, rivière) ou eau salée (eau de la mer); le type de module photovoltaïque : rigide ou souple. En présence d'eau, plusieurs phénomènes peuvent être observés, tels que : la modification du spectre du rayonnement solaire ; la réduction de la température de fonctionnement du module ; l'usure de matériel; isolation électrique; pertes électriques ; le comportement du matériau sous constante effort; entre autres.

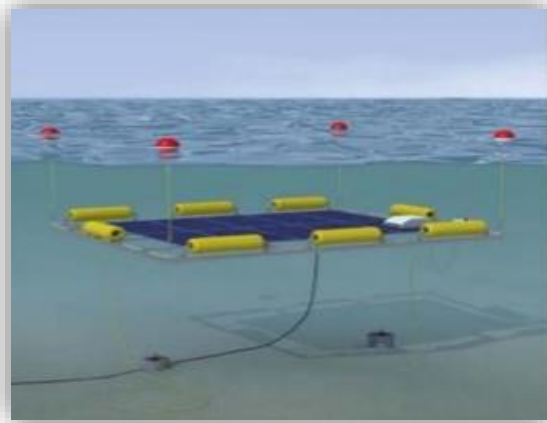


Figure I.14 : Système photovoltaïque immergé pour la protection contre les ondes. (Recherche uniquement avec intérêt militaire) [24]

I.3.2.3 Différents types de flotteurs (matériaux et géométrie)

il existe essentiellement quatre types , bien que l'innovation commence à s'orienter vers des types mixtes. Ces quatre modèles sont les suivants :

- ❖ Pure : Dans ces systèmes, les panneaux photovoltaïques sont situés au-dessus du système de flottaison. Dans ces systèmes, il est important de calculer l'angle d'inclinaison maximal pour compenser l'augmentation du coût des systèmes d'ancrage due aux charges sur la structure avec l'augmentation possible de la production en optimisant l'angle d'inclinaison.
- ❖ Métalliques : Ceux-ci ont une structure en acier soutenue par un système flottant sur lequel les panneaux photovoltaïques sont supportés et, bien qu'ils offrent un meilleur refroidissement avec un

impact sur la production, les coûts des systèmes flottants peuvent être plus élevés.

- ❖ Membrane : Dans ces systèmes, les modules reposent directement sur la membrane en contact avec l'eau. Dans ces systèmes, bien que les charges soient plus faibles, la production peut être pénalisée en fonction de la localisation de l'usine.
- ❖ Autres systèmes : Systèmes avec des matériaux alternatifs, généralement composés de fer et de béton, actuellement avec un niveau de mise en œuvre inférieur.

La géométrie du système flottant a été conçue avec 2 aspects principaux à l'esprit. Tout d'abord, le module doit protéger au maximum l'eau pour éviter l'évaporation de l'eau. Deuxièmement, la taille du module doit impérativement être adaptée aux modules PV disponibles dans le commerce (49). Problèmes solaires examinés inclus: taille et angle d'inclinaison du photovoltaïque module, nombre de modules à installer, distance entre des rangées de panneaux (pour éviter les effets d'ombre) et, un accès facile pour le prolongement. [25]

L'idée de base dans la construction d'une centrale solaire flottante est d'installer les modules photovoltaïque sur flotteurs et les connecter ensemble pour former une île flottante proprement dite ancré au fond ou sur les bords du lac ou du réservoir. De cette manière, le flotteur présente comme un élément très pertinent dans l'ensemble qui compose l'CPF. La Figure I.15 montre différents types de flotteurs qui vous permettent de maintenir les modules en hauteur. par rapport au niveau d'eau, facilitant l'échange de chaleur par convection du module avec le environnement proche de l'eau. La figure 8 montre quelques configurations de flotteurs installé en Corée.

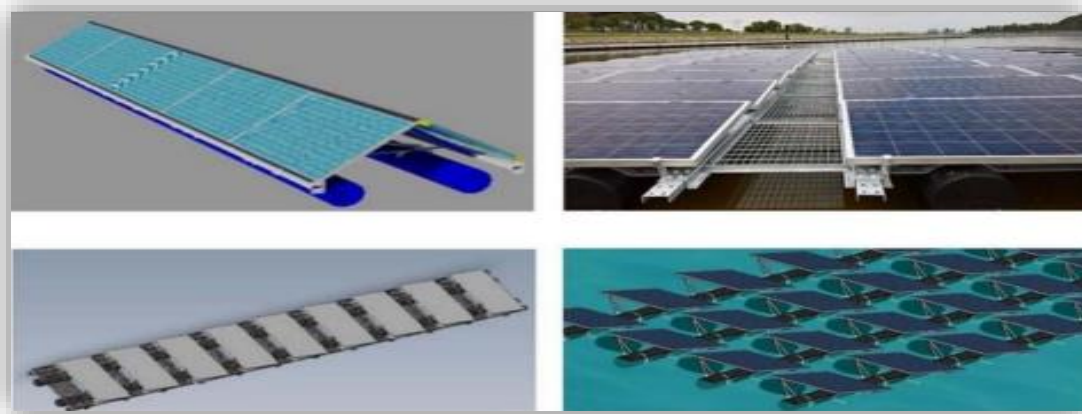


Figure I.15 : Configurations des flotteurs en Corée [24]



Figure I.16 : Types de flotteurs et aménagements installés dans la zone d'essai (SERIS) [26]



I.3.2.4 Fabricants de flotteurs dans le monde

En raison du caractère innovant des systèmes photovoltaïques flottants, le nombre de fabricants de flotteurs dans le monde est assez petit. Dans une récente enquête menée sur le site ENF Solar (société spécialisée dans l'échange d'informations commerciales), ont été trouvés 20 entreprises fabriquant des flotteurs dans le monde, dont 14 en Chine. le Tableau I.3

présente les 20 entreprises, leurs implantations et des photos illustratives des chars [27] .

Tableau I.3 : Fabricants de flotteurs dans le monde [28,29,30]

Nom de l'entreprise	Emplacement	Flotteur
Xiamen HQ Mount Co., Ltd. www.hqmount.com	CHINE - Xinglin Bay Operations Center, Jimei District, Xiamen, Fujian	
Voyage de Xiamen Solar Technologie Co., Ltd www.tripsolar.com	CHINE - Haicang District, Xiamen, Fujian	
Ciel et Terre www.ciel-et-terre.net	France - Sainghin-enMélantois	
FloatPac Solaire https://floatpac.com	Australie - Melbourne Mt Waverley, Victoria 314	
Système solaire flottant OFEV www.foenpv.com	CHINE - Jimei District, Xiamen City	
Sciences futures et Technologie Co., Ltd. www.FutureSolarPV.com	CHINE - Licheng_District	
Solaire flottant Layfield www.jnnewenergy.com	CHINE - Andrew.Mills@layfieldgroup.com	

<p>Xiamen Megan Solar Co., Ltd. www.mgsolarracking.com</p>	<p>CHINE - Jimei District, Xiamen, Fujian</p>	
<p>Mibet (Xiamen) New Energy Co., Ltd www.mbt-energy.com</p>	<p>CHINE - Houxi Town, Jimei District, Xiamen, Fujian</p>	
<p>Île NRG www.nrgisland.com</p>	<p>ITALIE - Viareggio (LU) www.fotovoltacogalleggiante.com</p>	
<p>Soleil de l'océan AS oceansun.no</p>	<p>NORVÈGE - Lysaker Norway</p>	
<p>Puissance de Xiamen Suneon Technologie Co., Ltd www.suneonsolar.com</p>	<p>CHINE - Hengtian Road, Jimei District, Xiamen</p>	
<p>Alimentation Sungrow Co., Ltd. en.sungrowpower.com</p>	<p>CHINE - Industriel Développement Zone, 230088, Hefei, Anhui</p>	
<p>Technologie Hefei Sunhome Co., Ltd. www.sunhomepv.com</p>	<p>CHINE - Hi-tech District, Hefei, Anhui</p>	
<p>Topper PV Solaire Flottant Fabricant de montage Co., Ltd.</p>	<p>CHINE - Siming, Xiamen, Fujian</p>	

www.floatingsolarmounting.com		
Voyage de Xiamen Solar Technologie Co., Ltd. www.tripsolar.com	CHINE - Haicang District, Xiamen, Fujian	
Suzhou Premier Flottant Ingénierie de l'eau Co., Ltd https://www.deenton.com	CHINE - Suzhou, Jiangsu	
Sun_Track www.suntrack.co.kr	CORÉE - Sujeong-gu, Seongnamsi, Gyeonggi-do	
Jiangsu Prochain Polymère Matériaux Co., Ltd. jsnext.cn	CHINE - Economic Développement Zone, Pei County	

Dans cette enquête auprès de 20 fabricants de flotteurs disponibles sur le marché, il a été possible d'observer plusieurs projets avec différentes solutions d'aération pour la face arrière du générateur. Cette caractéristique impacte directement les pertes par convection dans le module, permettant un plus grand refroidissement du module et par conséquent une plus grande performance dans la production d'énergie. L'impact sur les performances du module dû à cette fonctionnalité devrait être en cours d'étude.

I.3.2.5 Système d'ancrage

les systèmes d'ancrage, l'une des clés du solaire photovoltaïque et fondamental pour maintenir la plate-forme en place. Dans cet aspect, la première chose à faire est de réaliser une étude bathymétrique, c'est-à-dire

une étude topographique des fonds marins, car celle-ci n'est généralement pas régulière. De plus, il est également important de garder à l'esprit que l'installation doit pouvoir avoir certains mouvements ainsi que de tenir compte du fait que dans un réservoir, le niveau et la profondeur de l'eau varient considérablement, [23] de sorte que la conception de l'ancrage doit en tenir compte. Les trois types d'ancrages les plus courants sont :

- Ancrage au fond
- Mouillage sur le rivage
- Pieux



Figure I.17 : Système d'ancrage [23]

En plus du flotteur, le système d'ancrage est un autre dispositif important de l'ensemble des composants flottants du système PV. Un système d'ancrage peut utiliser plusieurs possibilités d'amarrage, telles que : jetées, appontements, jetées, piquets enfoncés dans le sol ou amarres. Au Dans le cas d'un système solaire flottant, le système d'ancrage maintient les panneaux dans le même position. L'installation d'un système d'ancrage peut être difficile et coûteuse dans des eaux agitées. profond. Maintenir les câbles d'amarrage tendus en suivant la variation de niveau du miroir d'eau est également un autre défi qui peut être résolu avec des bouées de surface ou ressorts élastiques tirant les tirants.

Certaines informations supplémentaires ont été obtenues directement auprès du fabricant [31] de ressorts élastiques, parmi eux, méritent une

attention particulière : "Pendant les orages, les vents forts peuvent provoquer une répartition inégale de la force à travers certains points de la matrice. Si le système est connecté uniquement avec des cordes et des câbles, ne il y aura un amortissement suffisant de ces forces, ce qui peut conduire à des points de fixation cassés sur flotteurs ». Un autre aspect important est la durabilité du système de corde et de chaîne qui, selon Seaflex, un ancrage de ce type doit être remplacé d'ici quelques années de fonctionnement. La Figure I.18 présente schématiquement l'idée d'utiliser des ressorts élastiques dans le mouillage des îles flottantes.

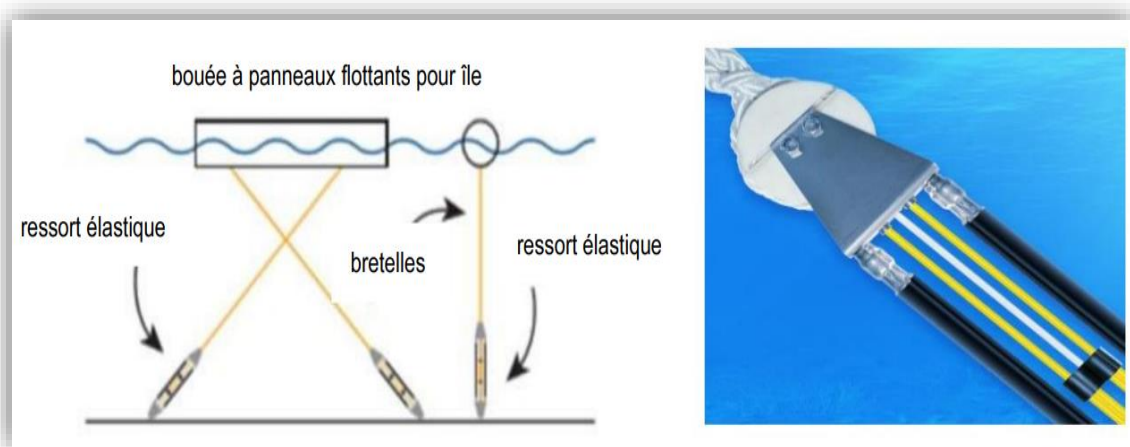


Figure I.18 : Schéma du système d'ancrage et détail des ressorts élastiques. schéma amarrage avec ressorts élastiques. ressort élastique fabriqué par Seaflex. [31]

I.3.4 Applications potentielles d'un système photovoltaïque hybride flottant un réservoir hydroélectrique dans le monde

Bien que les deux technologies fassent partie du système électrique mondial depuis des décennies, le l'énergie photovoltaïque et l'hydroélectricité ne sont étudiées que depuis peu manière intégrée.

En ce qui concerne la possibilité de stockage d'énergie, bien que les batteries soient une technologie en pleine expansion actuellement dans le monde (avec une capacité installée totale de autour de 2GW en 2016), cette technologie ne dépasse cependant pas les possibilités du stockage pompé dans des réservoirs hydroélectriques, qui compte environ 150 GW installé en

2016 [32] . Investissements dans les nouvelles technologies de stockage pompés, comme les turbines-pompes à vitesse variable et les systèmes ternaires, se développent et promettent de devenir une alternative pour augmenter l'efficacité énergétique des centrales hydroélectriques, surtout lorsqu'il est associé à des sources renouvelables complémentaires telles que le solaire flottant et vent .

L'un des inconvénients de l'énergie solaire est qu'elle dépend des conditions météorologiques, le rayonnement, l'emplacement et les cycles quotidiens naturels. De ce fait, la production d'énergie solaire n'est pas contrôlable. En revanche, l'hydroélectricité à réservoir est très contrôlable.

Le fonctionnement intégré de ces sources a été étudié par [33] , qui a mis en évidence les avantages de l'exploitation intégrée des sources d'énergie dispatcha blés et non dispatcha blés dispatcha blés qui permettent une opération (fonction de l'ONS au Brésil) avec un haut niveau de pénétration des énergies renouvelables.

Une étude de cas a été réalisée pour la centrale hydroélectrique hybride PV de Longyangxia en Chine. Les résultats ont montré que, par rapport à l'opération traditionnelle, la moyenne annuelle de la puissance et la fiabilité ont respectivement augmenté de 4,3 % et 47,5 %, tandis que l'indice de pénurie d'eau a chuté de 6,6 % [33] . Une enquête menée par l' International Hydro power Association présentée dans son état des lieux de l'hydroélectricité – 2017 [34] sur l'expansion de l'hydroélectricité dans le monde, un scénario d'implantation de centrales hydroélectriques réversibles y compris celles hybrides avec solaires flottants installés dans leurs réservoirs respectifs. Le Tableau I.4 montre le bilan général de cette recherche. Il y a une faible participation de cette technologie en Afrique, en Amérique du Sud et en Asie centrale.

Tableau I.4 : Capacité installée mondiale d'hydroélectricité réversible à l'horizon 2016 [35]

	Centrales hydroélectriques (GW)	Réversible (GW)
Afrique	30.2	3.4
Asie de l'Est	392.8	64.7
L'Europe	172.5	50.5
Amérique du nord et centrale	178.3	22.6
Amérique du Sud	163.9	1
Asie centrale	158.9	7.5
Total	1095.8	149.7

La Figure I.19 présente un résumé de la part de l'hydroélectricité avec pompage-turbinage présenté par [36] dans sa Note Technique No. EPE-DEE-NT-006/2019-r0 (13 février 2019).

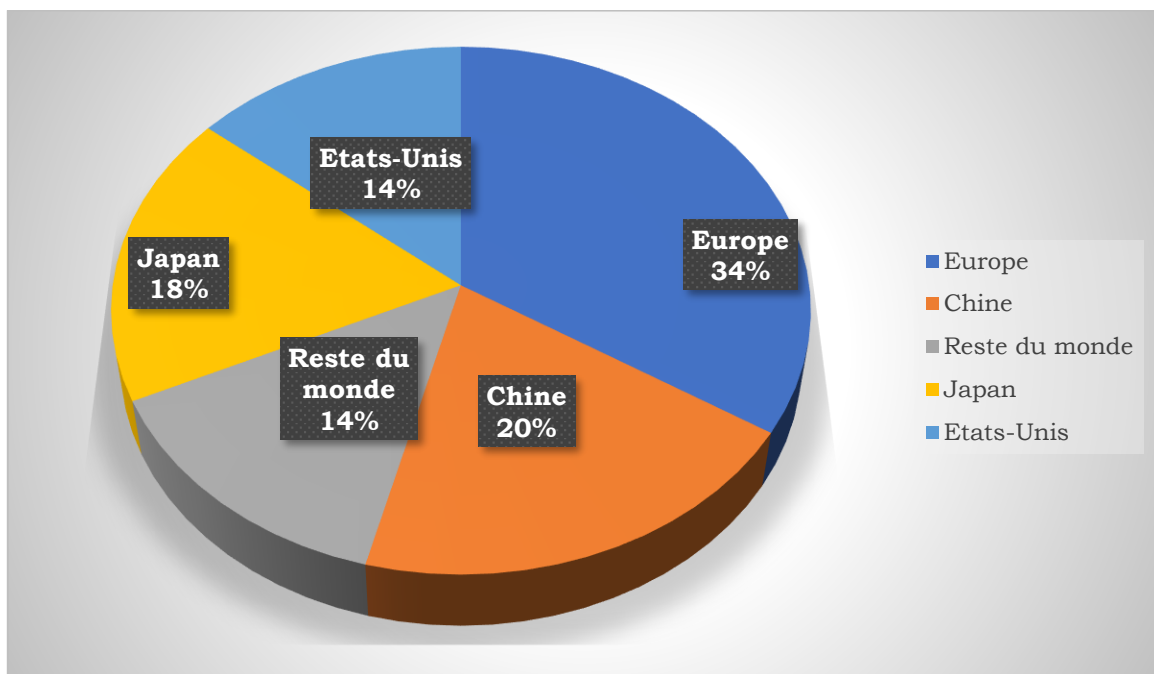


Figure I.19 : Répartition de la capacité totale installée des centrales hydroélectriques réversibles (2017) [35]

Tableau I.5 : Installations installées au cours de la dernière année dans le monde [37]

Année	Usine	Emplacement	Pouvoir	PV quantitative	APPLICATION
2021		Texas États-Unis	985kW	2 592	Technologie d'irrigation
2021		Changhua Taïwan	10266k W	25.992	Technologie d'irrigation
2021		Changhua Taïwan	22752k W	57.600	Technologie d'irrigation
2021		Mie Japon	710 kW	2 491	réservoir d'irrigation
2022		Yunlin Taïwan	1 023,8 kW	2 592	Reservoir de stockage d'eau
2021		État de New York, États-Unis	8 915,4 kW	2 592	Approvisionnement en eau
Août 2020		Tamilnadu, INDE	14 800 kW	37 632	Stockage d'eau

I.3.5 Considérations sur la mise en œuvre de centrales photovoltaïques flottantes dans les lacs hydroélectriques en Algérie.

La mise en œuvre de centrales photovoltaïques flottantes dans les lacs hydroélectriques en Algérie présente plusieurs considérations importantes à prendre en compte. Voici quelques éléments à prendre en considération :

1. Évaluation de la ressource solaire : Avant d'implanter des centrales photovoltaïques flottantes, il est essentiel de réaliser une évaluation approfondie de la ressource solaire dans la région. Cela permettra de déterminer le potentiel d'énergie solaire disponible et de s'assurer que les conditions sont favorables pour l'exploitation de cette technologie.
2. Étude de la stabilité et de la sécurité du lac : Les lacs hydroélectriques doivent être évalués pour leur stabilité, leur capacité portante et leur sécurité. Les centrales photovoltaïques flottantes doivent être conçues et installées de manière à ne pas compromettre l'intégrité structurelle du lac ou présenter des risques pour l'environnement, la faune, la flore ou la sécurité publique.
3. Évaluation de l'impact environnemental : L'impact environnemental de l'installation de centrales photovoltaïques flottantes doit être évalué soigneusement. Il est important de prendre en compte les aspects écologiques du lac, notamment la qualité de l'eau, les habitats aquatiques et les écosystèmes existants. Des mesures appropriées doivent être prises pour minimiser l'impact sur l'environnement.
4. Contraintes réglementaires et légales : Il est essentiel de se conformer aux réglementations et aux lois en vigueur concernant l'utilisation des lacs hydroélectriques et l'installation de centrales photovoltaïques flottantes. Il peut être nécessaire d'obtenir des autorisations et des permis spécifiques des autorités compétentes.
5. Intégration au réseau électrique : Les centrales photovoltaïques flottantes doivent être conçues pour s'intégrer de manière harmonieuse au réseau électrique existant. Des études de raccordement et d'interconnexion seront nécessaires pour assurer une intégration efficace et stable avec le réseau.

6. Maintenance et opérations : Les centrales photovoltaïques flottantes nécessitent une planification adéquate des opérations et de la maintenance. L'accès au site, la surveillance régulière, le nettoyage des panneaux solaires et la gestion des risques potentiels doivent être pris en compte pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des installations.
7. Évaluation de la rentabilité : Une analyse économique approfondie doit être réalisée pour évaluer la viabilité financière des centrales photovoltaïques flottantes. Cela inclut l'estimation des coûts d'investissement, des coûts d'exploitation et de maintenance, ainsi que la comparaison des avantages économiques par rapport à d'autres options énergétiques.

En considérant ces aspects, les centrales photovoltaïques flottantes peuvent représenter une opportunité intéressante en Algérie, en utilisant les ressources solaires disponibles de manière efficace et en diversifiant le mix énergétique du pays tout en minimisant l'impact environnemental. Cependant, une planification et une évaluation .

I.4 Les différentes pompes utilisées dans les systèmes de pompages :

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe à aspiration est limitée à une valeur théorique de 9,8 (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 à 7 mètres. Ces pompes sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Elles doivent également être amorcées c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau. [38]

I.4.1 Les pompe à refoulement :

Sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface, dans ce cas la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant le moteur à la pompe qui engendre des pertes mécaniques. [38]



Figure I.20 : Pompe immergée

I.4.2 Pompes volumétriques

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. On distingue généralement les pompes volumétriques rotatives et les pompes volumétriques alternatives. [38]

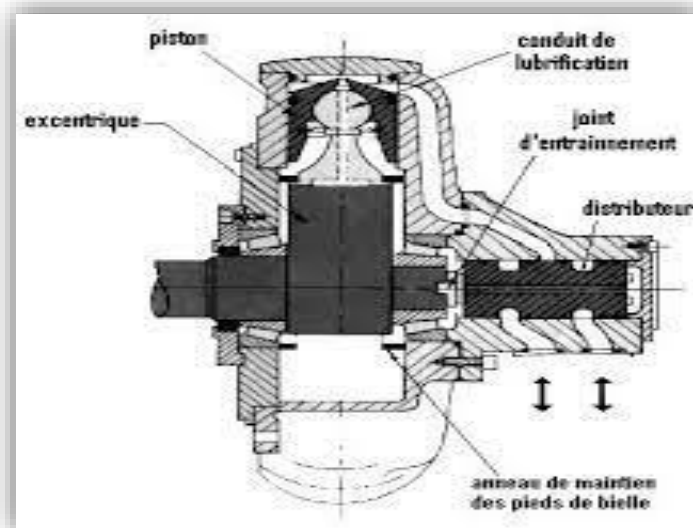


Figure I.21 : La pompe volumétrique

I.4.3 Pompes centrifuges

Les pompes centrifuges sont des appareils qui sont utilisés pour transporter des fluides par la **conversion de l'énergie cinétique de rotation** à l'énergie **hydrodynamique** de l'écoulement de fluide. [39]

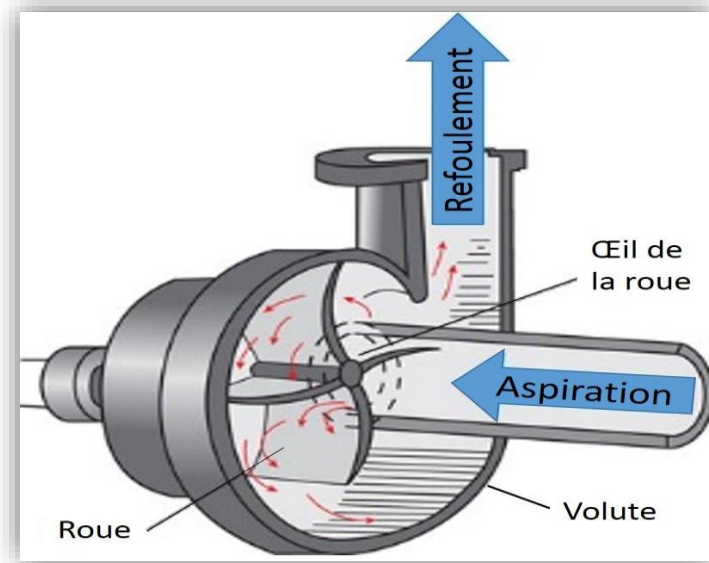


Figure 1.22 : pompe centrifuge

I.4.4 Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges



Tableaux I.6 :Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges [39]

LES POMPES VOLUMETRIQUES	LES POMPES CENTRIFUGES
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Faible débit et une grande hauteur manométrique totale ✚ Le débit et la puissance absorbée sont proportionnels à la vitesse ✚ Le couple est fonction de la HMT ✚ Le couple de démarrage est de 3 à 5 fois le couple nominal 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Grand débit ✚ Le débit est proportionnel à la vitesse lorsqu'elle atteint une certaine valeur ✚ La puissance absorbée est proportionnelle au cube de la vitesse ✚ Le Couple est fonction du carré de la vitesse ✚ La pression est proportionnelle à la vitesse ✚ -Couple de démarrage est quasiment nul qui est intéressant dans l'application du système ✚ photovoltaïque car la pompe peut

	tourner à un faible ensoleillement et le moteur peut avoir une vitesse de rotation rapide, à peu constant.
--	--

I.5. Conclusion

Les systèmes photovoltaïques flottants sont une technologie prometteuse pour produire de l'énergie solaire en exploitant les surfaces d'eau disponibles. Ils offrent un rendement élevé grâce à des conditions environnementales favorables, réduisent l'évaporation de l'eau et peuvent avoir un impact écologique positif en fournissant un habitat aux organismes aquatiques. Ces systèmes sont flexibles, évolutifs et peuvent être déployés dans des zones où l'espace terrestre est limité. Cependant, des défis techniques et environnementaux doivent être surmontés pour assurer la durabilité et minimiser l'impact sur les écosystèmes aquatiques. En conclusion, les systèmes photovoltaïques flottants ont le potentiel de jouer un rôle important dans la transition vers une énergie propre.



CHAPITRE II

Modélisation et commande du systèmes photovoltaïque avec poursuit solaire

II.1 Introduction :

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de $1,4 \text{ kW/m}^2$, pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu au niveau du sol. Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année. Pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire. Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose : pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique. La Figure II.1 représente symboliquement les divers éléments du système le plus général. Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales.

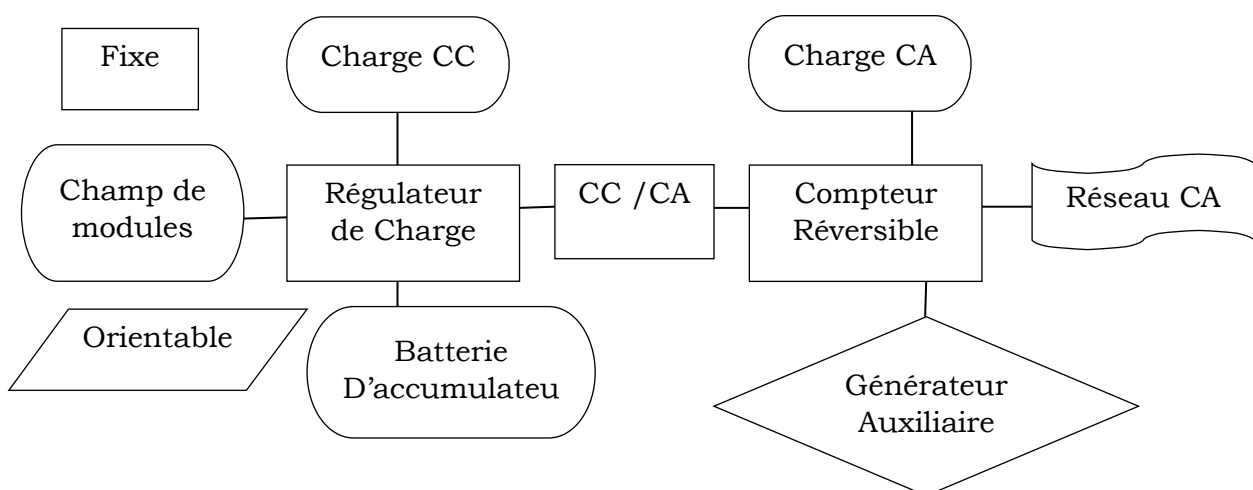


Figure II.1 : Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général

II.2 Le Rayonnement solaire :**II.2.1 Mouvement du Globe terrestre :**

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22juin) qu'elle en est la plus éloignée.

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique. [40]

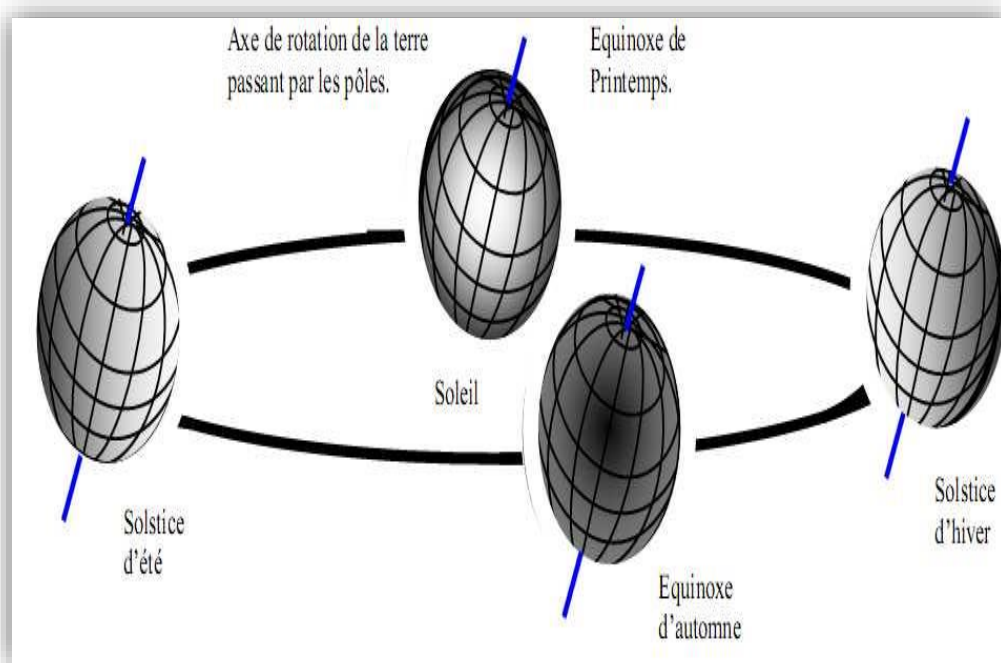


Figure II.2 : Variation saisonnière du rayonnement solaire

II.2.2 La sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère elle même comme est représenté sur la figure (II.3) [40]

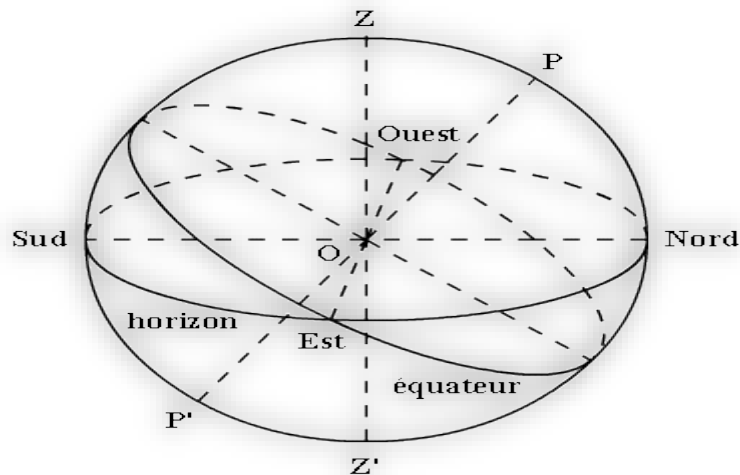


Figure II.3 : La sphère céleste

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes.

II.2.3 Les coordonnées célestes :

II.2.3.1- Les coordonnées géographiques :

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre [40]

II.2.3.1.1- Longitude :

La longitude d'un lieu λ correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest.

II.2.3.1.2- Latitude :

La latitude d'un lieu ϕ correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud Khenchela : $\phi = 35.4358300$ N [42]

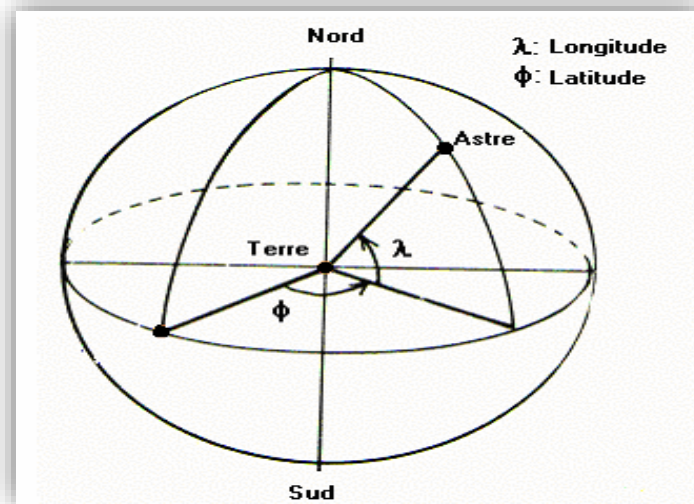


Figure II.4 : Les coordonnées géographiques

II.2.3.2- Les coordonnées horaires

II.2.3.2.1- La déclinaison solaire :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes (-23°27'et +23°27'environs) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360(284n)}{365}\right)$$

n : numéro du jour dans l'année

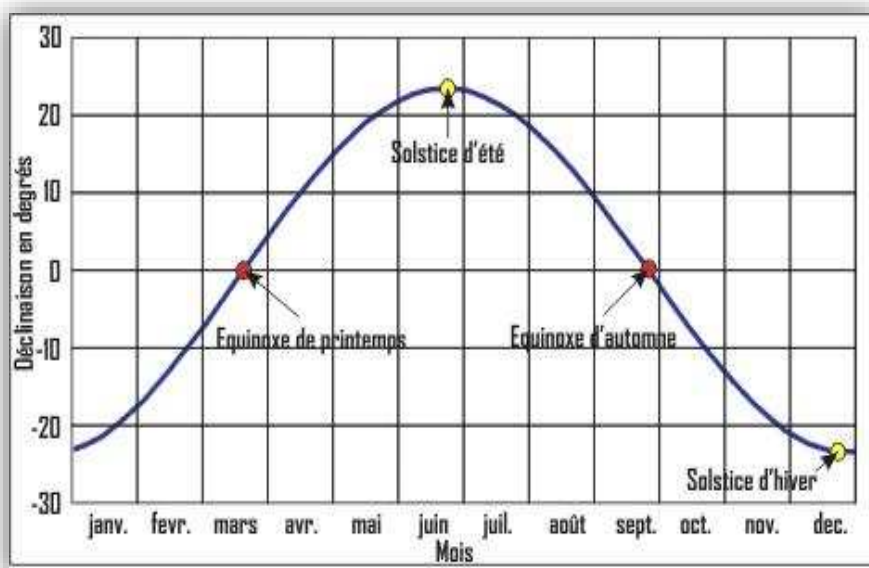


Figure II.5 : La déclinaison du soleil en fonction des jours

II.2.3.2.2-Angle horaire :

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0 et 360 degrés. La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après midi et augmente de 15 par heure, L'angle horaire est obtenu de la façon suivante :

$$\omega = 180 (TSV / 12 - 1)$$

Ou encore :

$$\omega = 360 (TSV - 12) / 24$$

ω : en degrés

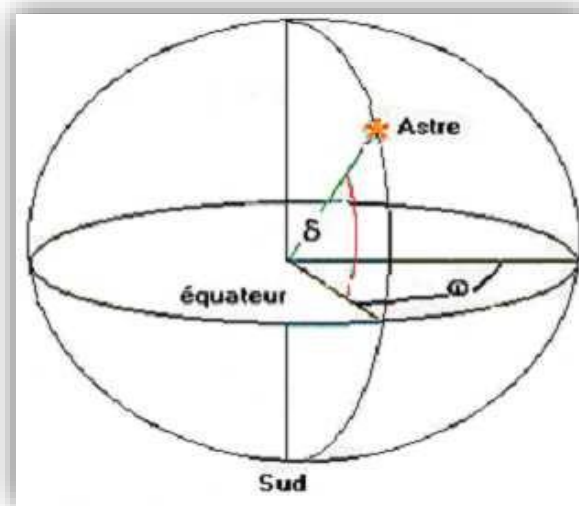


Figure II.6 : les coordonnées horaires

II.2.4- Les coordonnées horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

II.2.4.1- Hauteur angulaire du soleil :

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0 (soleil à l'horizon) à 90 (soleil au zénith)

$$h = \text{Arc Sin} (\text{Sin} (\Phi) . \text{Sin} (\delta) + \text{Cos} (\Phi) . \text{Cos} (\delta) . \text{Cos} (\omega))$$

II.2.4.2- Azimut:

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil.

La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale

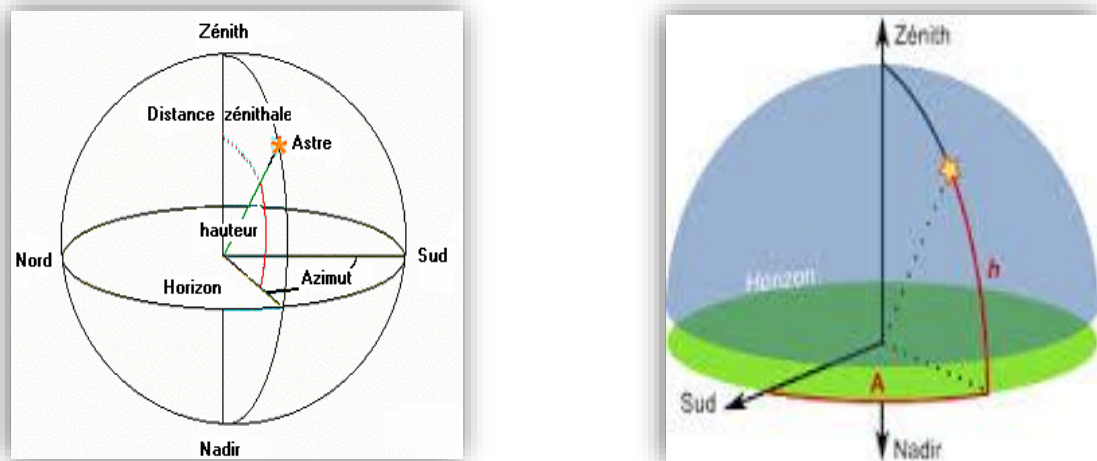


Figure I.7: Les coordonnées horizontales

II.2.5- Temps solaires :

II.2.5.1- Temps solaire vrai :

On appelle " Temps Solaire Vrai " (en abrégé TSV) en un lieu et à un instant donné, l'angle horaire du Soleil en ce lieu et à cet instant .C'est une notion qui traduit à la fois le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même et son mouvement autour du Soleil. Son introduction est naturelle, car il est lié à l'alternance des jours et des nuits. C'est le TSV qui est indiqué sur les cadrans solaires.

II.2.5.2- Temps solaire moyen :

La vitesse de la Terre sur son orbite n'est pas constante au cours de l'année. Pour avoir un temps qui " s'écoule " à vitesse constante (celui mesuré par les horloges), on définit donc un temps solaire moyen.

Historiquement, la journée solaire moyenne a été utilisée pour définir les unités temps. On a encore avec une bonne précision 1 jour = 24h 00m 00s. L'écart entre TSV et TSM varie selon la date, mais est nul en moyenne, par définition.

L'expression de cet écart porte le nom de " Equation du temps

II.2.6- Angle horaire de coucher du soleil :

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire.

Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local.

Il est donné par l'équation Suivante :

$$\omega_s = \arccos (-\tan(\Phi) \tan(\delta))$$

δ : Déclinaison solaire.

Φ : Latitude.

II.2.7- Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairage énergétique à peu près constant et égale à 1367w/m², appelé de ce fait constante solaire

II.2.7.1- Types de rayonnements :**II.2.7.1.1- Rayonnement direct : [40]**

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

II.2.7.1.2 - Rayonnement diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

II.2.7.1.3- Rayonnement global :

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus.

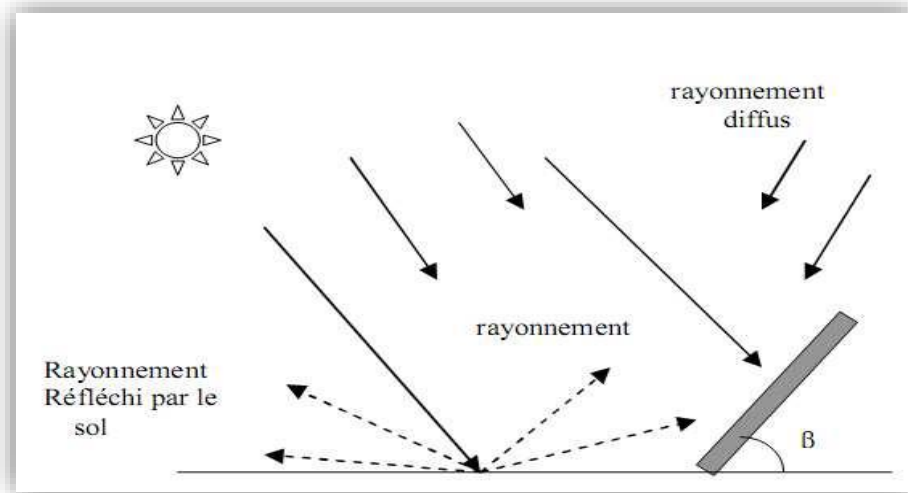


Figure II.8 : Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée

II.2.8- Rayonnement en Algérie :

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ $1\text{Kw}/\text{m}^2$. L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les $6\text{Kw}/\text{m}^2$ et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de $2500\text{ Kw}/\text{m}^2$ La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie. [41]

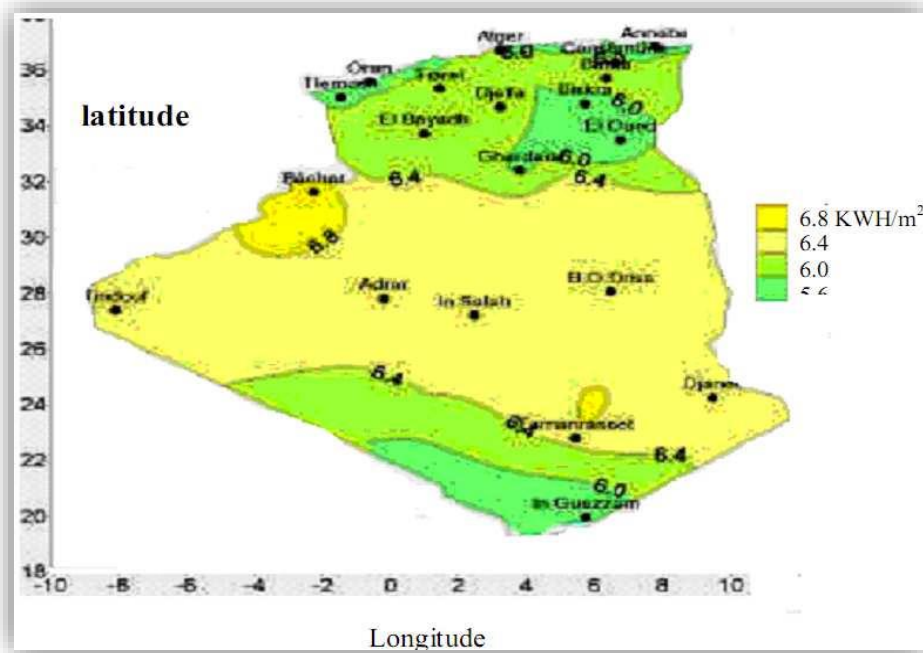


Figure II.9 : les différentes zones énergétiques dans l'Algérie

II.3 SUIVI SOLAIRE

Un système de suivi solaire a pour fonction d'optimiser la position solaire, permettant le mouvement des panneaux solaires en fonction du mouvement du soleil, augmentant l'incidence solaire captée par les panneaux solaires. Jour, que les angles solaires sont modifiés, les panneaux tournent en profitant de la autant que possible de la période d'incidence solaire du lever au coucher du soleil.

II.3.1 Système à axe unique

Un poursuit solaire à un axe est limité à suivre uniquement la direction de l'azimut, de l'est ouest ou du nord au sud, sont normalement configurés selon un schéma préétabli en fonction de la météo et de la période de l'année. Pouvoir tourner autour d'un axe vertical, un axe incliné ou axe horizontal (Figure II.10). Comme ce système n'a qu'un axe il ne contient qu'un seul moteur ce qui réduit la consommation d'énergie.



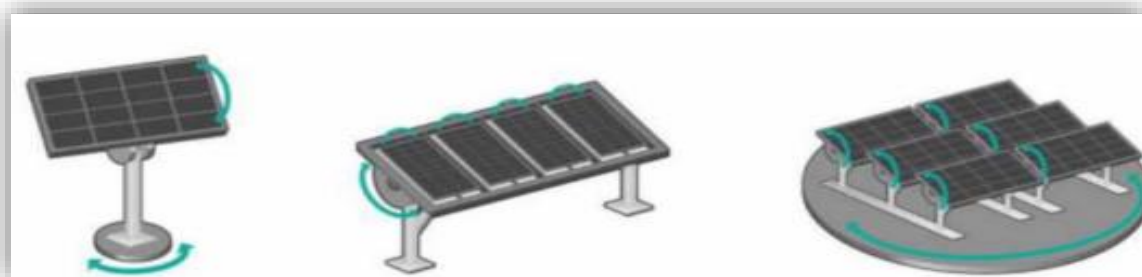
suivi mono-axe sur un axe incliné suivi mono-axe sur un axe horizontal suivi mono-axe sur un axe vertical

Figure II.10 : Représentation du degré de déplacement du suiveur solaire sur un axe.

Comme illustré dans le sujet du positionnement solaire, dans différentes coordonnées l'utilisation d'un suiveur solaire mono-axe peut présenter des configurations plus complexes. Efficacité différente. L'axe est-ouest en lui-même est le mouvement le plus variable du soleil est le plus utilisé, mais dans les pôles où cette variation journalière est plus faible, le plus intéressant est d'utiliser l'axe nord-sud comme référence.

II.3.2 Système à deux axes

Le suiveur solaire à deux axes permet au panneau de suivre le mouvement du soleil dans deux directions, la direction azimutale et la direction zénithale, c'est-à-dire l'axe est-ouest et nord-sud. Les suiveurs à deux axes doivent se déplacer plus librement dans leurs structures, et pour cela ils utilisent deux moteurs pour les déplacer (Figure II.11).



Classique " double axe

double axe dans un cadre

à deux axes sur une base rotative

Figure II.11 : Représentation du degré de déplacement du suiveur solaire à deux axes.

Les trackers équipés de deux axes, contrairement aux trackers à un axe qui sont configurés avec des normes préétablies, a un capteur qui a un fonctionnement similaire à un œil, c'est-à-dire qu'il est capable de suivre visuellement le soleil. Par conséquent, malgré un système plus complexe, qui draine plus d'énergie Grâce aux deux moteurs, il est plus efficace.

II.3.4 Résultats des simulations :

II.3.4.1 Fonction de transfert du pompe

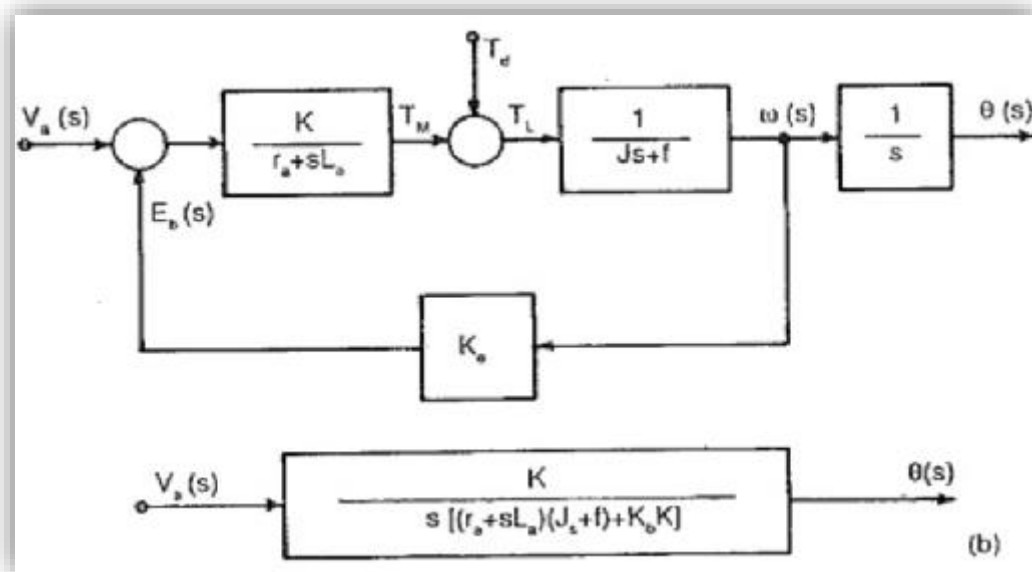


Figure II.12 : Fonction de transfert du pompe

les informations pour le calcul et la simulation à faire dans le prochain chapitre de la fonction de transfert sont fournis par le fabricant :

$$K_b = 0.453$$

$$K_t = 0.431$$

$$J = 5.5 \text{ e-}3$$

$$B = 5.88$$

$$R = 2 \text{ ohms}$$

$$L = 1.134\text{mH}$$

$$\omega = \pi / (3 \cdot 0.15) = 6.98$$

II.3.4.2 MODÉLISATION DES POMPES 12 V DANS MATLAB-SIMULINK :

Vous trouverez ci-dessous les outils utilisés pour le développement du projet, comment ils fonctionnent et comment ils ont été utilisés, en plus du projet final, en tenant compte en considérant que le projet a été développé pour les versions 2016 ou plus récentes du logiciel, étant ce qui est décrit ci-dessous valable uniquement pour eux et pour la plupart les anciennes versions peuvent nécessiter quelques ajustements, ou même sur les anciennes versions, cela peut à moins qu'il soit impossible d'appliquer le modèle proposé.

Ce chapitre sera divisé en trois parties, une explication des facteurs d'entrée, les fonction de transfert et les paramètres de sortie du circuit comme on peut le voir dans aperçu du projet dans Figure

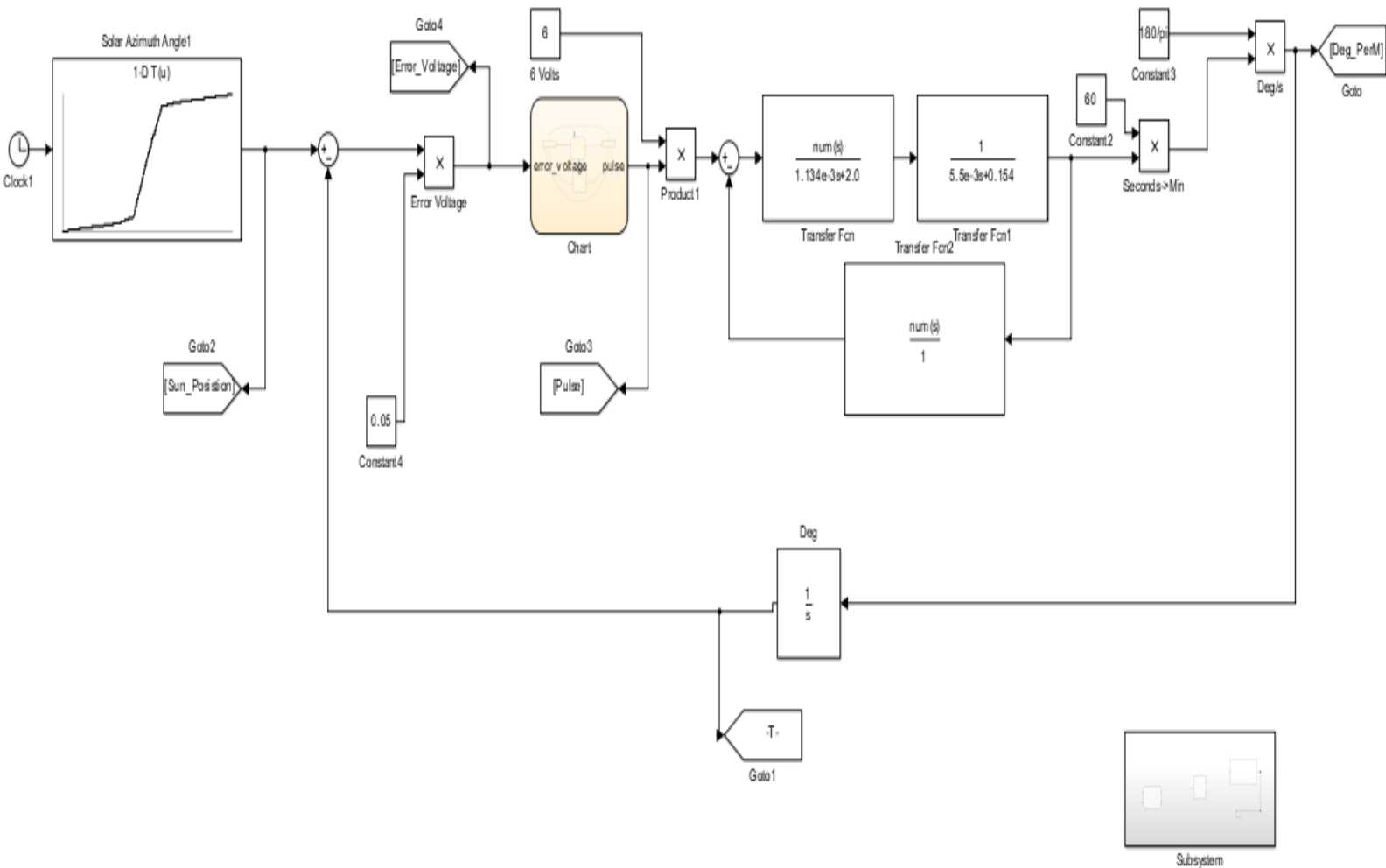


Figure II.13 :Vue d'ensemble de la simulation de commande de servomoteur

II.3.4.3 PARAMETRES D'ENTREE

Dans ce premier instant, les paramètres d'entrée du système seront présentés. c'est-à-dire la position solaire de la coordonnée choisie en plus du système PWM responsable en réalisant la variation de tension qui va alimenter la pompe .

II.3.4.4 POSITION DU SOLEIL

Pour insérer des données de position solaire dans le logiciel, un bloc appelé nD Lookup Table (Figure 21), ce bloc est capable de rechercher une référence de ligne, des colonnes et des pages pour composer un tableau que le logiciel est capable de simuler.

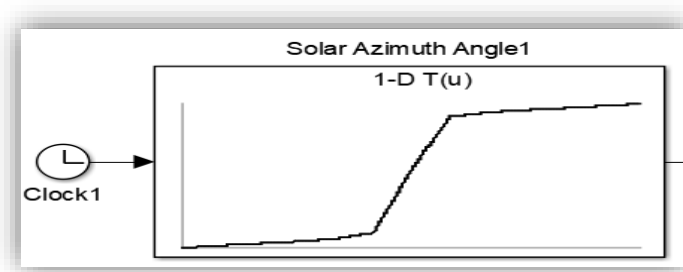


Figure II.14 : Bloc Table de consultation nD

Dans le cas du projet, le logiciel Excel a été utilisé pour créer le tableau de référence, avec deux colonnes : angle azimutal et position solaire, car on s'attend à ce que le le panneau se déplace suivant l'angle azimutal proposé ci-dessus.

II.3.4.5 MISE EN ŒUVRE DU CONTRÔLE DE LA LOGIQUE DE MACHINE À ÉTATS FINIS ET PWM

Une erreur constante (Figure II.15) de 0,05 multipliée par la position solaire a été simulée pour créer les données d'entrée pour le bloc graphique (commande logique d'une machine à états finis) représenté à Figure II.16.

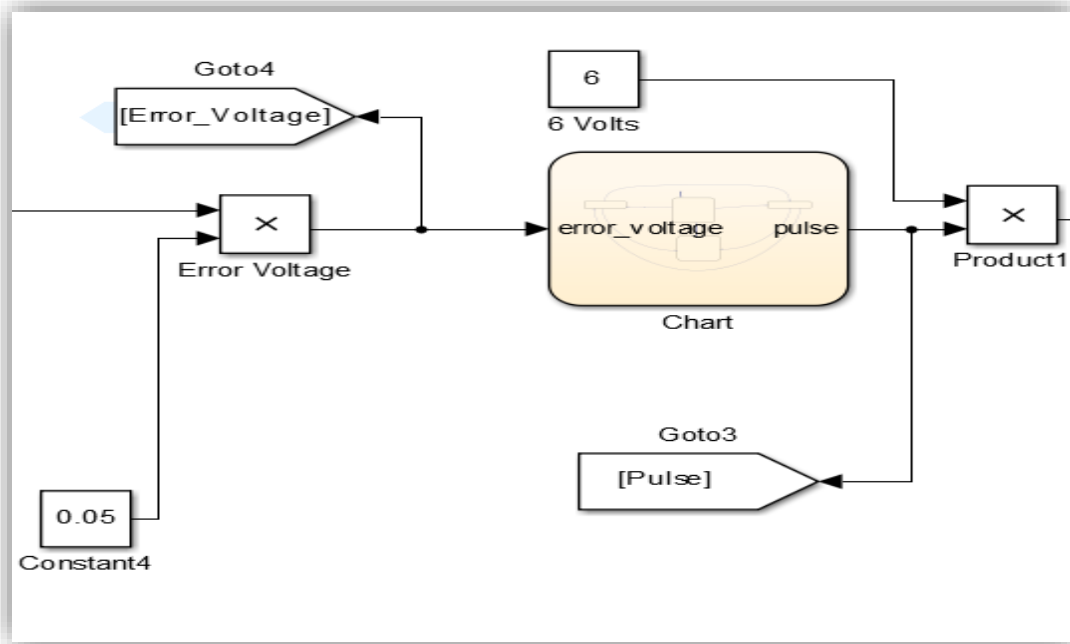


Figure II. 15 Représentation de l'erreur et du contrôle logique d'un système simulé d'automate fini.

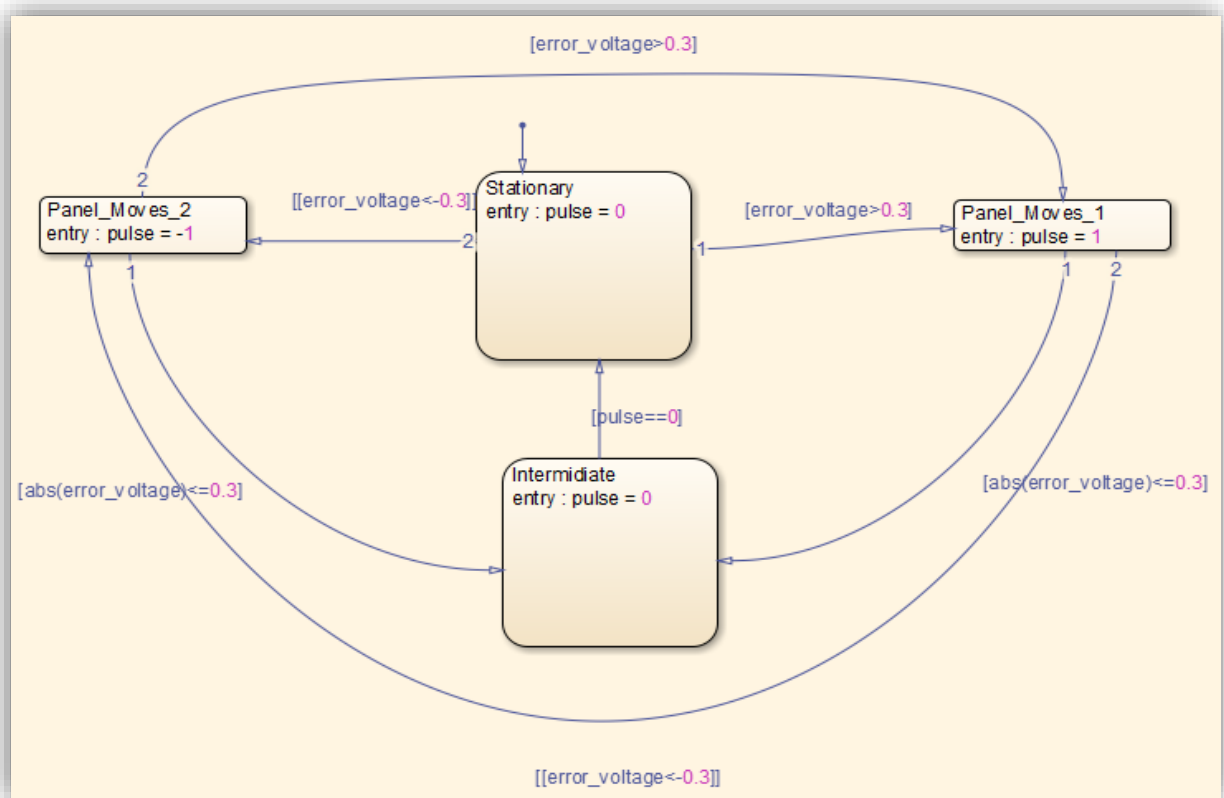


Figure II.16 : Commande logique d'un système de machine à états finis simulé.

Les machines à états sont des machines abstraites qui capturent les parties essentielles de certaines machines à béton, dans le cas de ce document la machine sera un microcontrôleur. Le diagramme d'état créé pour le projet est représenté dans Figure II.16. La machine utilise un paramètre de comparaison de 0,03 et l'erreur de tension est comparée à cette référence, cette tension est appliquée à l'induit du moteur si l'erreur est supérieure à la référence, plus la tension appliquée à l'induit du moteur est grande en se rappelant que la tension appliquée est de 6V comme indiqué sur Figure II.15 . Le moteur tourne à l'un des sens antihoraire ou horaire tant que l'erreur est positive ou négative et que le moteur s'arrête lorsque l'erreur est nulle.

II.3.4.6 FONCTION DE TRANSFERT

Figure II.17 représente la fonction de transfert du pompe , Les paramètres aussi ont été présentées précédemment et les configurations des blocs sont représentées respectivement dans les Figures II(18,19,20) .

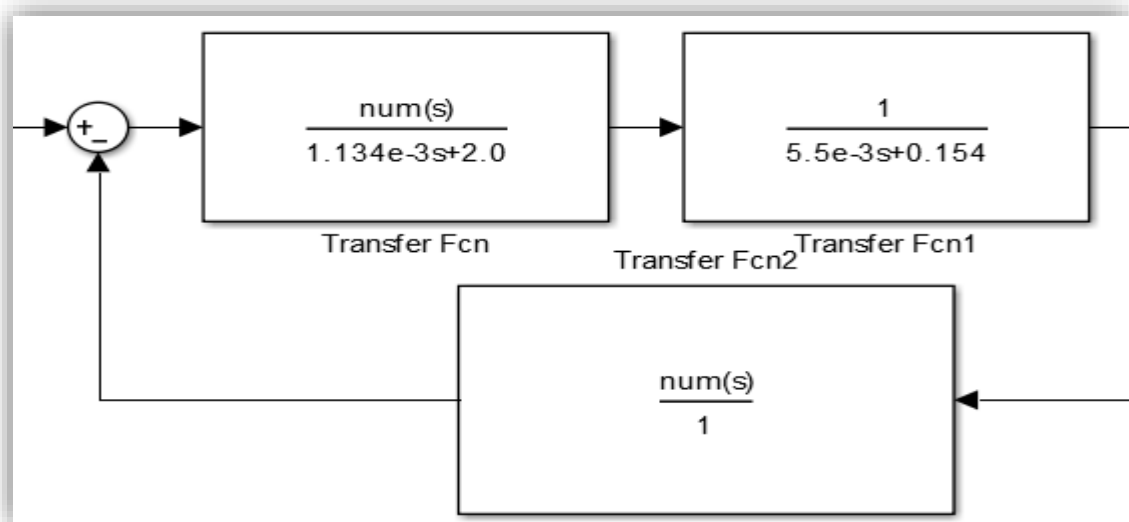


Figure II.17 : Contrôle logique du système simulé de la machine à états finis

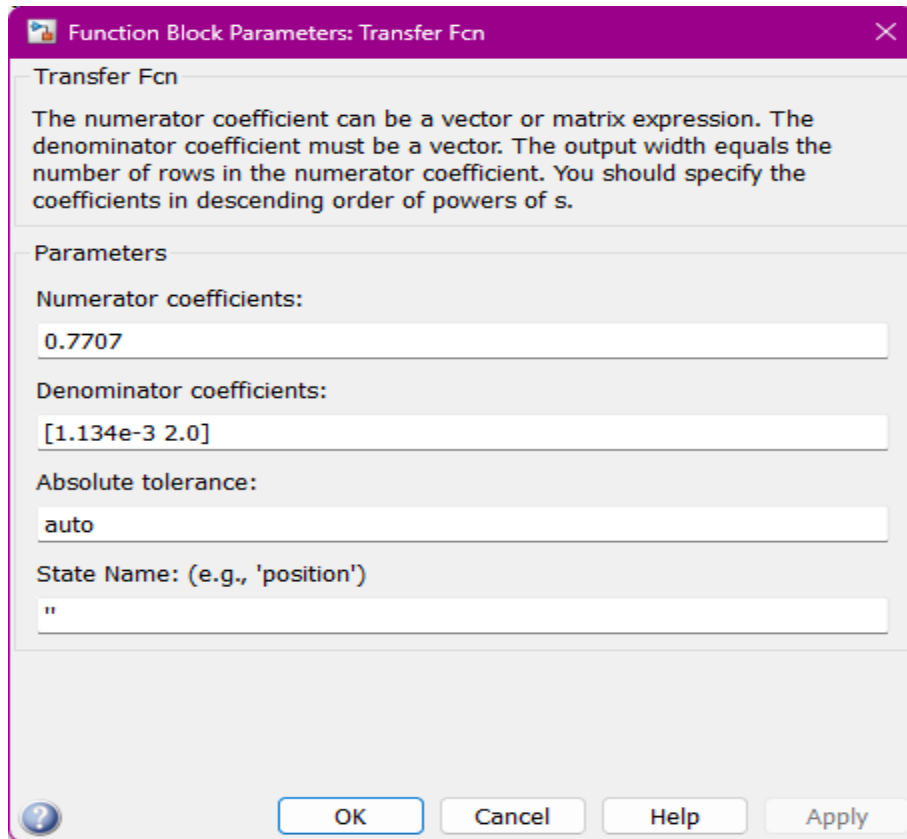


Figure II.18 : Fonction de transfert 1.

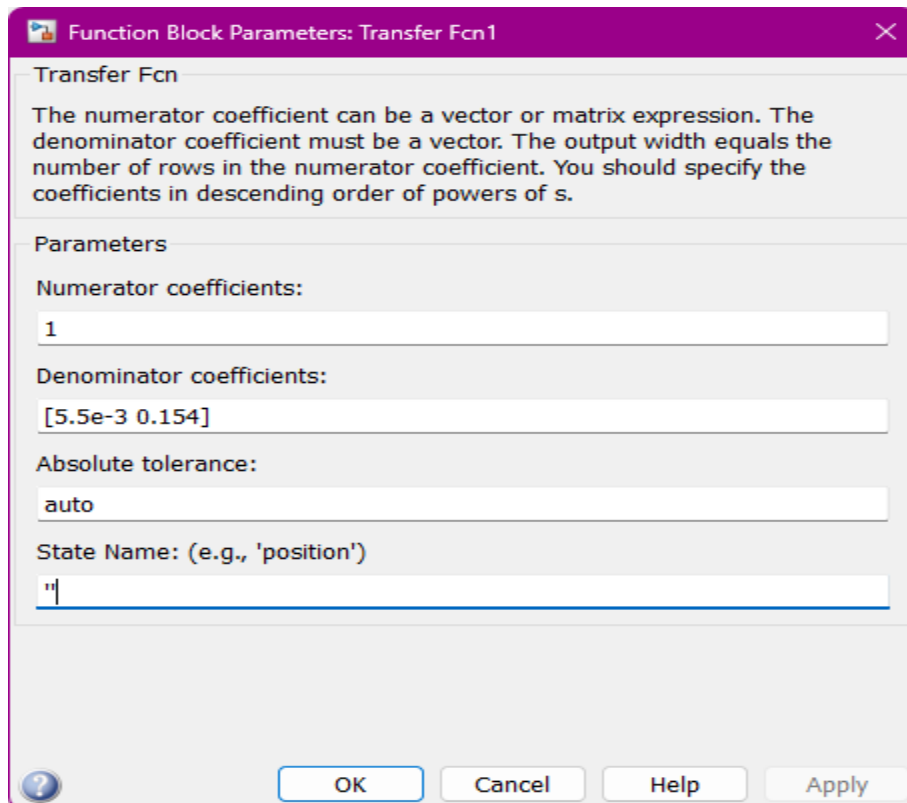


Figure II.19 : Fonction de transfert 2.

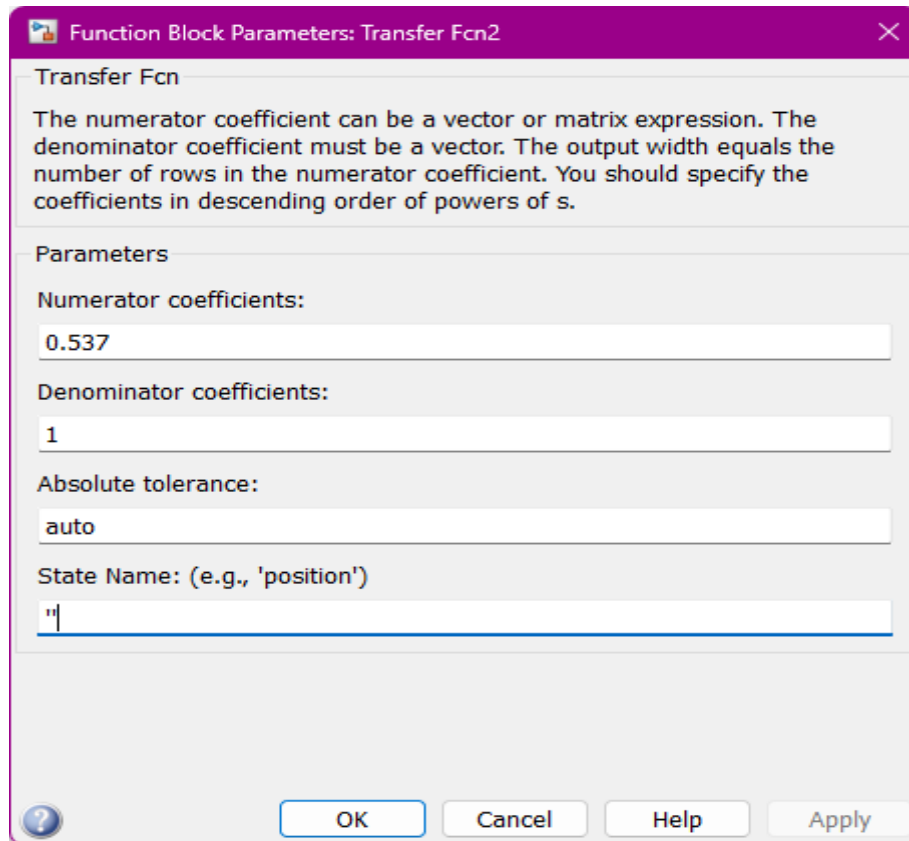


Figure II.20 : Fonction de transfert 3.

Lors de la simulation il a été noté la nécessité d'appliquer la fréquence de 60hz dans le système, de plus, comme présenté précédemment, les Pompes utilisé a une limitation de 180 degrés, qui est également représentée sur la Figure II.20 . La même figure représente le système de rétroaction.

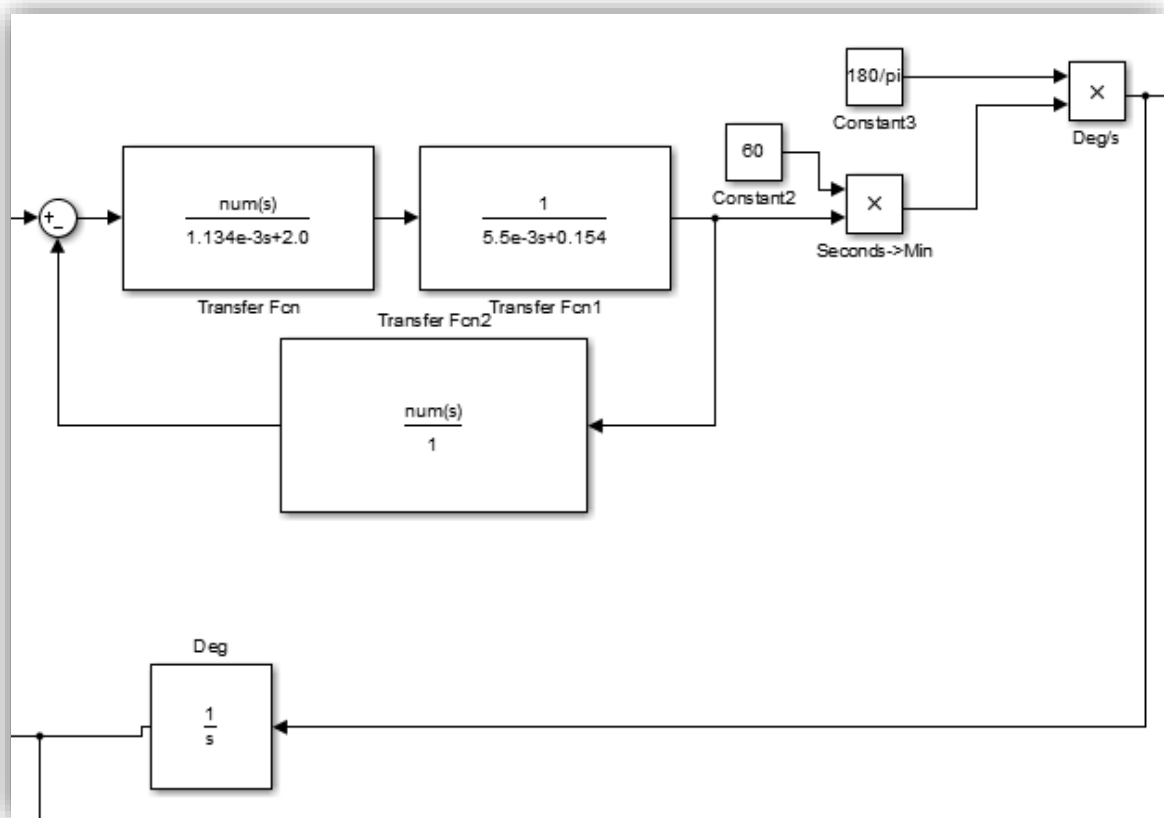


Figure II.21 : Fonction de transfert, paramètres constants et étape de rétroaction du système.

II.3.4.7 PARAMÈTRES DE SORTIE DE SIMULATION

La simulation considère un pas de 721 000, et simule l'incidence solaire pendant 24 heures.

Comme prévu, nous pouvons voir que la machine à états finis fonctionne correctement, puisque sur Figure II.21 , fruit de la simulation, le panneau est positionné en fonction de la position solaire à la coordonnée simulée.

En zoomant sur la simulation Figure II.23, il est possible de visualiser respectivement, la position solaire, la position du panneau et l'impulsion (PWM).

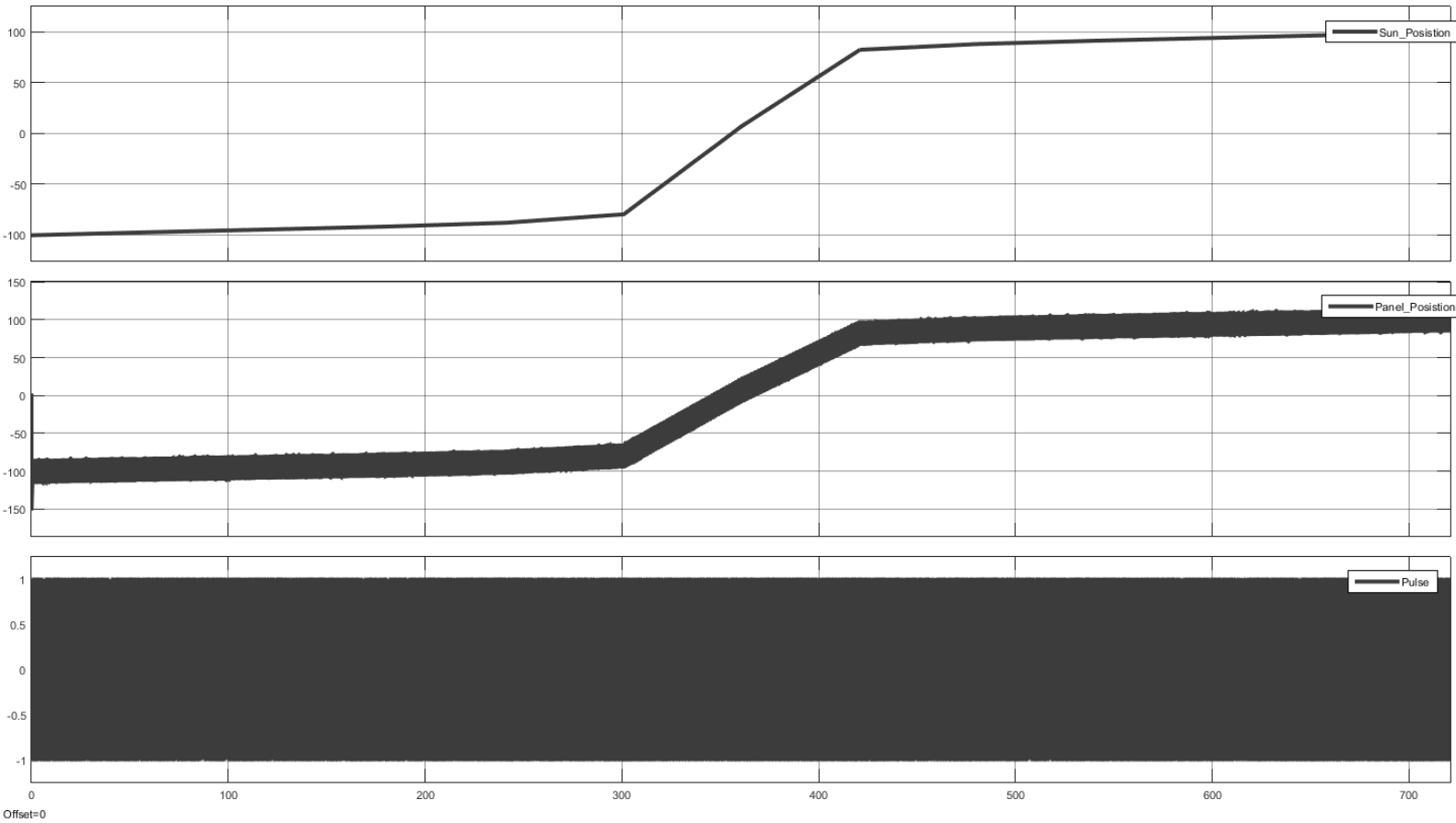


Figure II.22 : Position du panneau par rapport à la position solaire.

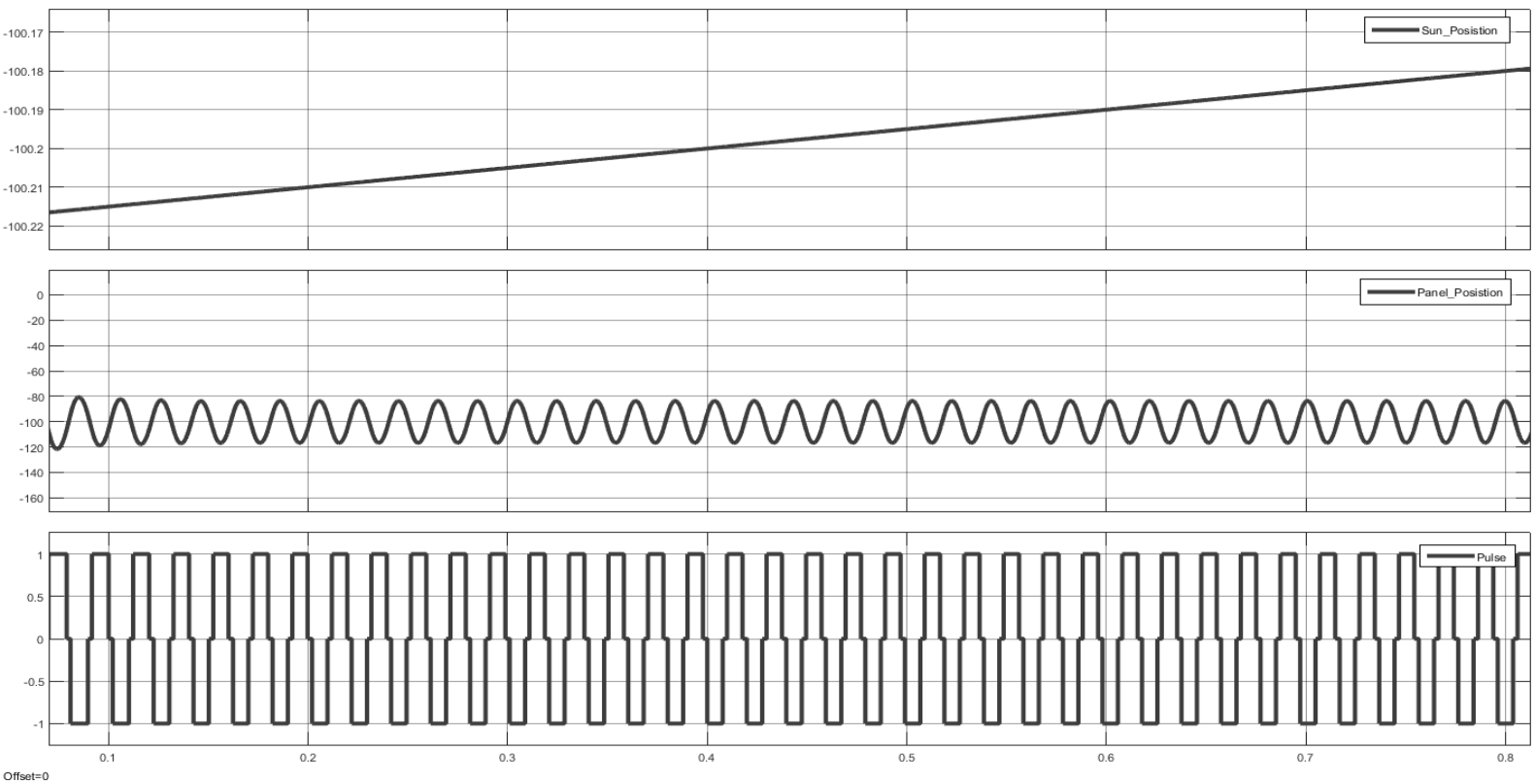


Figure II.23 : Position solaire, position du panneau et impulsion (PWM).

Figure II.24 montre l'une des valeurs mesurées dans la simulation dans laquelle il est possible d'analyser la position solaire du panneau en tenant compte de l'erreur simulée.

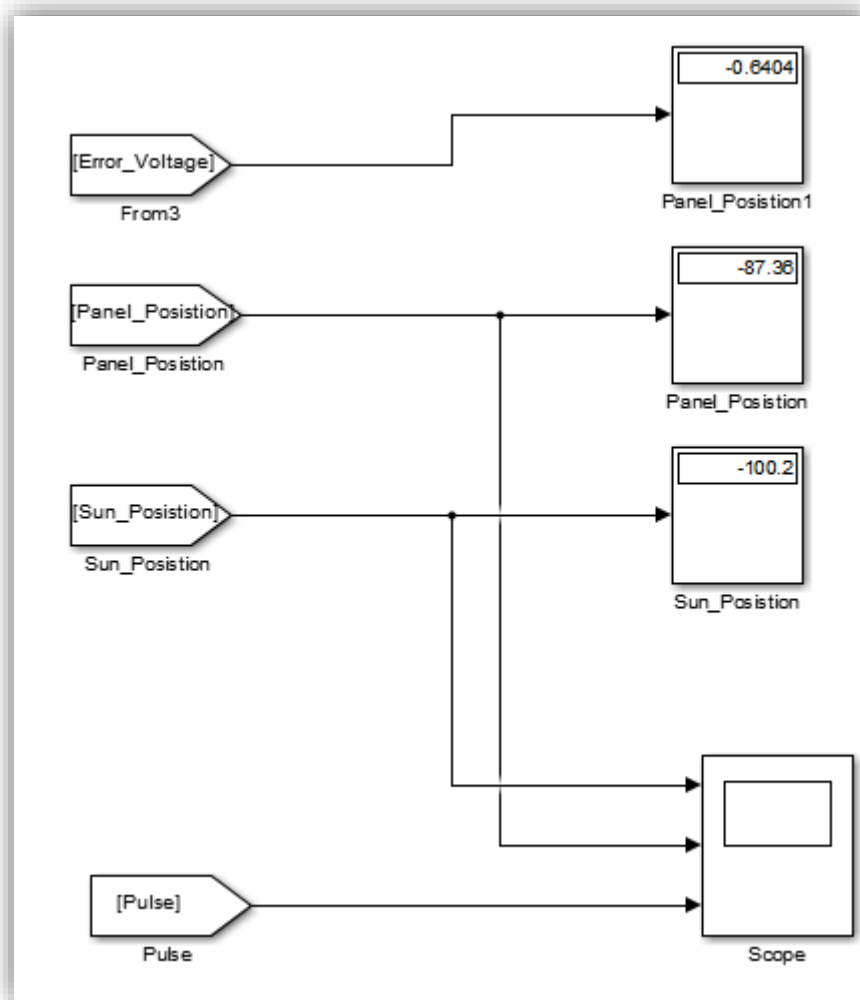


Figure II.24 : Position solaire, position des panneaux et erreur simulée

II.4.1 Conception du système photovoltaïque

II.4.1.1 Systèmes PV autonomes

Systèmes autonomes Selon le besoin, les systèmes autonomes alimentent un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. Ils sont indépendants du réseau et dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. On peut classer ces systèmes en deux catégories :

- Systèmes avec accumulateurs L'excédent de l'énergie produite est stocké dans des batteries. Le schéma synoptique de la figure suivante décrit ce système.

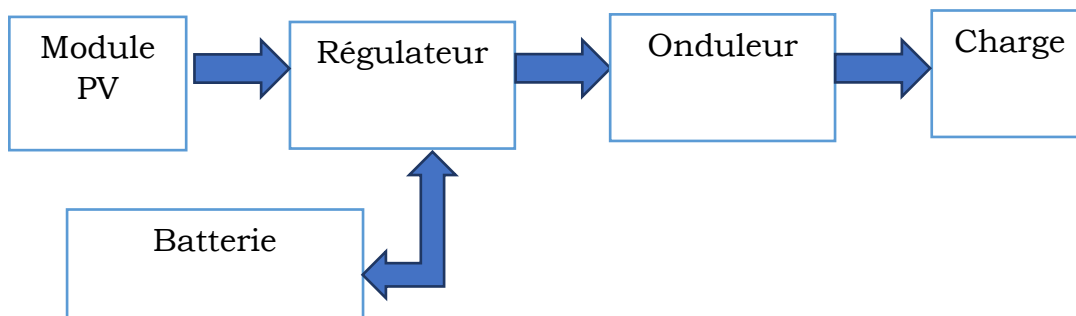


Figure II.25 : Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie

- Système sans accumulateurs Dans ces systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique. Par exemples : Pompage : stockage par réservoir d'eau, Réfrigération : stockage de froid (stockage de glace ou eutectique), Électrolyse de l'eau : stockage d'hydrogène [43] ; [44].

Les systèmes autonomes ou « stand-alone » ne sont pas raccordés au réseau électrique public. L'énergie solaire est stockée provisoirement dans des batteries. En cas de besoin d'Electricité peut être utilisée directement avec des appareils électriques en courant continu. Ou transformée en courant alternatif par un onduleur puis injectée dans une installation à courant alternatif (couplage AC). Des appareils usuels à courant alternatif

(réfrigérateur, téléviseur, pompe, etc.) peuvent être ainsi alimentés. En Algérie, les installations en site isolé sont surtout utilisées pour les chalets de montagne ou les maisons difficilement accessibles. Les systèmes en site isolé permettent également d'alimenter en électricité les maisons situées dans régions éloignées de tout réseau. Dans les pays émergents, ces installations sont souvent le seul moyen d'alimenter en électricité des villages isolé. La demande est immense : dans le monde, il existe encore environ deux milliards des personnes san électricité et lion de tout réseau électrique public.

Comme on le remarque sur la (figure.II.26) qui représente l'exemple d'un système PV autonome, un système de stockage est associé au générateur PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production.

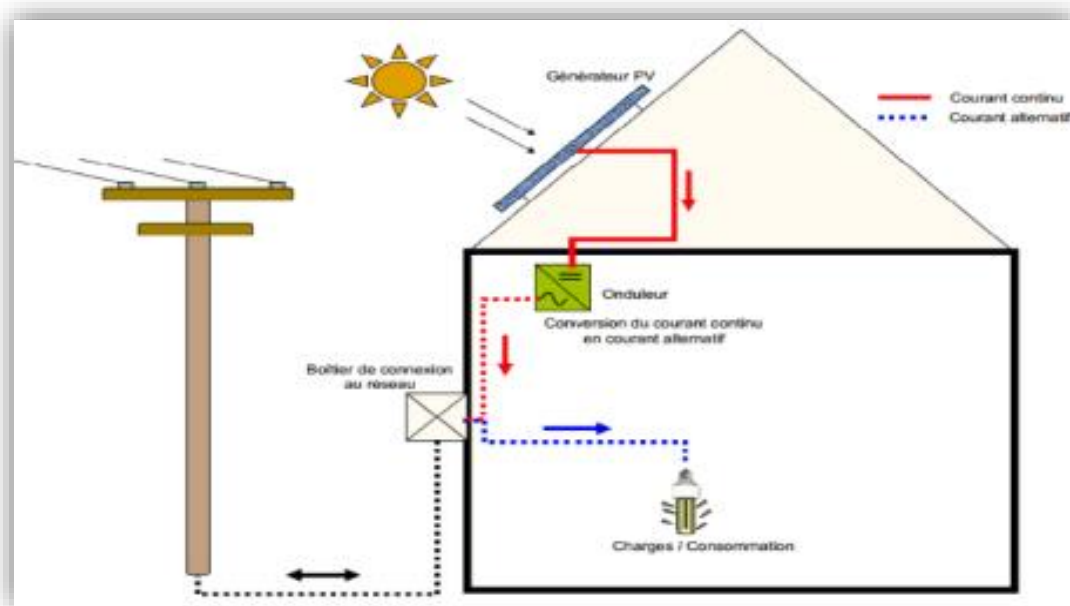


Figure II.26 : Structure d'un système autonome

II.4.1.2 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est l'application la plus envisagée en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits et les façades de bâtiments. L'intégration d'éléments photovoltaïques dans les structures des bâtiments à de nombreux atouts. En étant connectés au

réseau, ces systèmes permettent de s'affranchir des problèmes de stockage et de transport de l'électricité. L'excès de production, après transformation en alternatif à l'aide d'un onduleur, est injecté dans le réseau. En période de non production (la nuit), l'électricité est prélevée sur le réseau. Le compteur tourne alors dans les deux sens [45]

II.4.2 Modèles de composants pour système PV autonome

II.4.2.1 Systèmes photovoltaïques

Un système photovoltaïque est constitué de quatre blocs comme le montre la Figure II. 27 Le premier bloc représente la source d'énergie (panneau photovoltaïque), le second bloc est un convertisseur statique DC-DC, le troisième bloc représente la charge et le quatrième bloc représente le système de commande. Le rôle principal du convertisseur statique est de faire une adaptation d'impédance de sorte que le panneau délivre le maximum d'énergie.

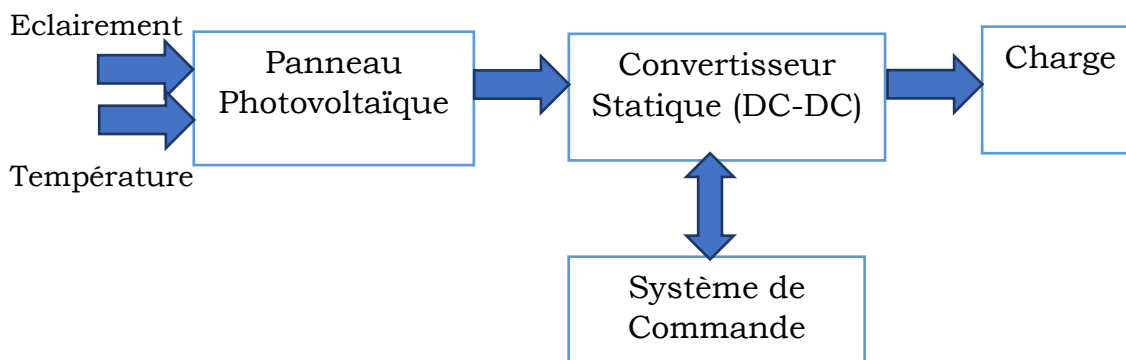


Figure II.27 : Schéma synoptique du système photovoltaïque

Un système photovoltaïque, également connu sous le nom de système solaire photovoltaïque (PV), est un système qui convertit l'énergie solaire en électricité utilisable. Il est composé de plusieurs éléments clés :

1. **Panneaux solaires photovoltaïques** : Les panneaux solaires sont constitués de cellules photovoltaïques qui capturent la lumière du soleil et la convertissent en électricité. Ces panneaux sont généralement fabriqués à partir de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium.

2. Onduleur : L'électricité produite par les panneaux solaires est en courant continu (CC), tandis que la plupart des appareils domestiques utilisent du courant alternatif (CA). L'onduleur est donc utilisé pour convertir le courant continu en courant alternatif, ce qui permet d'alimenter les appareils électriques.
3. Système de montage : Les panneaux solaires doivent être montés sur une structure solide, généralement sur le toit d'un bâtiment ou sur une structure au sol. Le système de montage assure la fixation sécurisée des panneaux solaires et leur orientation optimale pour capturer le plus de lumière solaire possible.
4. Batterie (optionnelle) : Certaines installations photovoltaïques sont équipées de batteries pour stocker l'électricité produite par les panneaux solaires. Cela permet d'utiliser cette électricité plus tard, notamment lorsque les panneaux ne produisent pas d'énergie (la nuit ou par temps nuageux).
5. Compteur bidirectionnel (optionnel) : Si vous êtes connecté au réseau électrique, un compteur bidirectionnel peut être installé pour mesurer la quantité d'électricité que vous produisez et celle que vous consommez. Lorsque votre système photovoltaïque produit plus d'électricité que nécessaire, l'excédent peut être injecté dans le réseau électrique, vous permettant ainsi de recevoir des crédits ou une compensation pour cette électricité.

L'installation d'un système photovoltaïque présente de nombreux avantages, notamment la réduction de la dépendance aux énergies fossiles, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la diminution des factures d'électricité et la promotion de l'indépendance énergétique. Cependant, il convient de noter que la viabilité et la rentabilité d'un système photovoltaïque dépendent de divers facteurs tels que l'emplacement géographique, l'ensoleillement, les coûts initiaux et les réglementations locales.

De façon très schématique, les panneaux solaires photovoltaïques sont composés de silicium, comme les microprocesseurs. Une fois illuminés, chacune des faces des panneaux photovoltaïques va se comporter comme les

bornes d'une pile, ces panneaux photovoltaïques créent donc un courant continu.

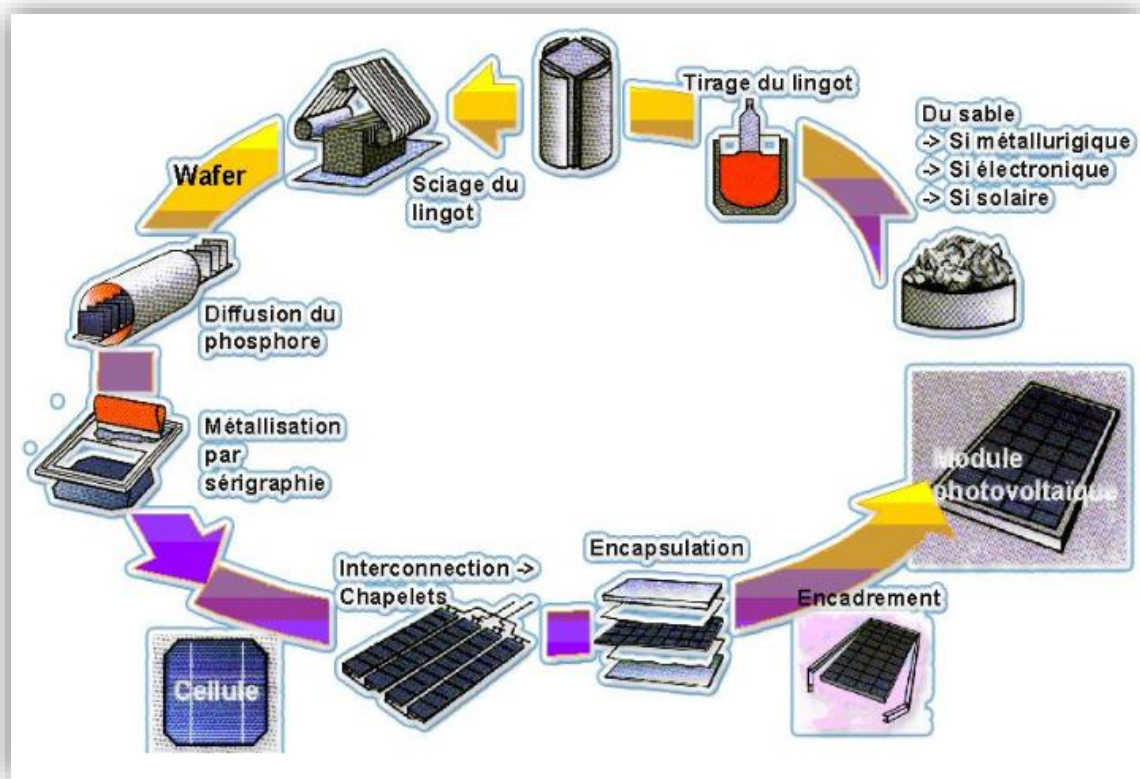


Figure II.28 : Processus de fabrication des modules photovoltaïques au silicium

II.4.2.1.1 Modélisation du générateur PV

II.4.2.1.1.1 Modèle à double diode

❖ Modèle à double diode

Un modèle à double diode est un modèle mathématique utilisé pour représenter le comportement des cellules solaires photovoltaïques. Ce modèle est plus avancé que le modèle à simple diode, car il tient compte de phénomènes non linéaires supplémentaires observés dans les cellules solaires.

Le modèle à double diode est basé sur l'idée que la cellule solaire peut être représentée par deux diodes en parallèle. Chaque diode représente un mécanisme de recombinaison différent dans la cellule solaire, ce qui permet

de modéliser plus précisément les pertes internes et les non-idéalités du dispositif.

Le modèle à double diode inclut généralement les composants suivants :

1. Courant de saturation des diodes : Chaque diode est caractérisée par son courant de saturation (I_s), qui représente le courant inverse lorsque la diode est polarisée en sens inverse.
2. Facteur d'idéalité des diodes : Chaque diode a un facteur d'idéalité (n), qui indique à quel point la diode se comporte de manière idéale. Une valeur de n proche de 1 représente un comportement idéal, tandis qu'une valeur plus élevée reflète des non-idéalités telles que les pertes de recombinaison.
3. Courant de photo courant : Le courant de photo courant (I_{ph}) représente le courant généré par la lumière incidente sur la cellule solaire.
4. Courant de sortie : Le courant de sortie de la cellule solaire est généralement exprimé en fonction de la tension de sortie (V) et des paramètres du modèle à double diode.

En utilisant ce modèle, il est possible de prédire les caractéristiques courant-tension (I - V) d'une cellule solaire dans différentes conditions d'éclairement et de température. Le modèle à double diode offre une meilleure précision que le modèle à simple diode, notamment pour décrire le comportement aux faibles niveaux d'éclairement et dans des conditions de température variables.

Il est à noter que le modèle à double diode est une représentation mathématique simplifiée du comportement réel des cellules solaires et peut varier en fonction du type de cellule solaire et de la précision recherchée dans les analyses. Différentes variantes du modèle à double diode existent pour prendre en compte des facteurs supplémentaires tels que les pertes par résistance interne et les effets de dégradation.

❖ **Modèle à deux diodes (à deux exponentielles):**

La cellule photovoltaïque est représentée par le circuit électrique suivant Figure II.29 qui se compose d'une source de courant modélisant le flux lumineux, deux diodes pour la polarisation de la cellule, une résistance shunt et une résistance série.

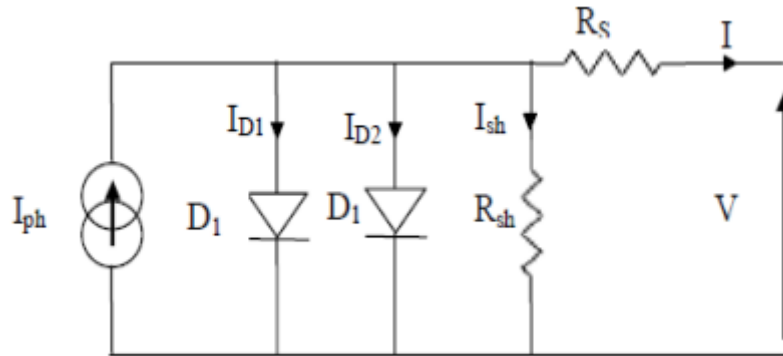


Figure II.29 : schéma équivalent à deux diodes

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{ph} - (I_{D1} + I_{D2}) - I_{sh}$$

Le courant de la diode est donné par :

$$I_{D1}=I_{01} = \left[e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKT}} - 1 \right]$$

$$I_{D2}=I_{01} = \left[e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKT}} - 1 \right]$$

Avec : I_{01}, I_{02} courant de saturation des diodes.

$$I = I_{ph} - I_{01} \left[e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKT}} - 1 \right] - I \left[e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKT}} - 1 \right] - \left(\frac{V+R_s I}{AKT} \right)$$

II.4.2.1.1.2 Modèle à deux diodes sans résistance shunt:

La cellule photovoltaïque est représentée par le circuit électrique Figure II.30 qui se compose d'une source de courant modélisant le flux lumineux (éclairage), deux diodes pour la polarisation de la cellule et une résistance série.

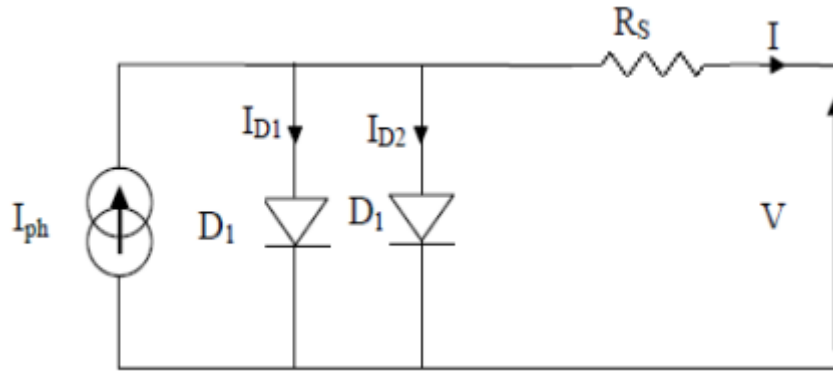


Figure II.30 : Schéma équivalent à deux diodes sans résistance shunt

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{ph} - (I_{D1} + I_{D2}) - I_{sh}$$

$$I = I_{ph} - I_{01} \left[e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKT}} - 1 \right] - I_{02} \left[e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKT}} - 1 \right]$$

II.4.3.1. Batterie

Les batteries Utilisé pour le stockage d'énergie

Les batteries solaires sont adaptées au cyclage quotidien et à la charge lente par panneaux solaires. Leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne est inférieure à 30% de la capacité totale pour les batteries plomb et jusqu'à 70% pour les batteries lithium.

Tableau II.1 : La différence entre les batteries PV

Type de batterie (décharge de 30% / temp. 25°C)	Nombre de cycles cycle = 1 x (décharge + charge)	Durée de vie
Batterie AGM	1500 cycles (600 cycles à 50%)	≈ 4 ans
Batterie AGM Plomb- Carbone	1500 cycles (1000 cycles à 50%)	≈ 4 ans
Batterie GEL	1800 cycles (750 cycles à 50%)	≈ 5 ans
Batterie GEL Plomb-	2500 cycles (1750	≈ 7 ans

Carbone	cycles à 50%)	
Batterie OPzV / OPzS	5000 cycles (3000 cycles à 50%)	≈ 13 ans
Batterie Lithium	6000 cycles (5000 cycles à 50%)	≈ 15 ans

❖ La batterie solaire

Elle est chargée de stocker le courant produit par le panneau pour assurer l'autonomie du système, sa durée de vie est définie par nombre de cycle (charge-décharge), elle se caractérise par :

-Ampérage en Ampère heure (Ah)

-Voltage en Volt.

On peut trouver les types des batteries solaires suivants :

- ➤ Batterie étanche : c'est une batterie fermée, étanche, sèche, sans maintenance ni entretien, à installer à l'abri de la chaleur et l'humidité, à ne pas stocker plus de 4 à 5 mois, très chère, durée de vie de 17 à 10 ans.
- Batterie stationnaire solaire : c'est une batterie ouverte (humide), avec entretien (l'ajout de l'acide chlorhydrique ou l'eau distillée chaque 6 mois), prix moins chère, durée de vie 10 à 15 ans.
- Batterie à gel : c'est une batterie ouverte destiné à zones froides (neige, verglas ...), avec entretien (l'ajout de l'antigel mono-propylène glycol chaque 6 mois), prix moyen, durée de vie 15 ans.

II.4.3.1.1 Notions générales sur la batterie

Une batterie est un dispositif électrochimique qui stocke de l'énergie sous forme chimique et la libère ultérieurement sous forme d'électricité. Les batteries sont largement utilisées dans de nombreux domaines, tels que l'électronique portable, les véhicules électriques, les systèmes de stockage d'énergie et bien d'autres applications.

Voici quelques notions générales sur les batteries :

1. **Composition chimique** : Les batteries peuvent être basées sur différentes compositions chimiques. Certaines des technologies de batterie les plus courantes sont les batteries au plomb-acide, les batteries lithium-ion, les batteries nickel-cadmium et les batteries nickel-métal hydrure. Chaque type de batterie a ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients.
2. **Cellule de batterie** : La cellule de batterie est l'unité de base qui génère l'électricité. Elle est composée de plusieurs composants, notamment un électrolyte, une anode (électrode négative), une cathode (électrode positive) et un séparateur qui empêche le contact direct entre l'anode et la cathode.
3. **Capacité** : La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie qu'elle peut stocker et fournir. Elle est généralement mesurée en ampères-heures (Ah) ou en milliampères-heures (mAh). Plus la capacité d'une batterie est élevée, plus elle peut fournir d'énergie sur une période de temps prolongée.
4. **Tension** : La tension d'une batterie indique la différence de potentiel électrique entre ses bornes. Elle est mesurée en volts (V). Différents types de batteries ont des tensions nominales spécifiques. Par exemple, une batterie au plomb-acide a une tension nominale de 12 volts, tandis qu'une batterie lithium-ion a généralement une tension nominale de 3,6 à 3,7 volts par cellule.
5. **Cycle de charge et décharge** : Les batteries peuvent subir des cycles de charge et de décharge, ce qui signifie qu'elles peuvent être rechargées et déchargées à plusieurs reprises. Le nombre de cycles de charge et décharge qu'une batterie peut subir avant de perdre de sa capacité varie selon le type de batterie.
6. **Durée de vie** : La durée de vie d'une batterie fait référence à sa durée de fonctionnement utile avant qu'elle ne doive être remplacée. Elle est influencée par des facteurs tels que le nombre de cycles de charge et

de décharge, les conditions d'utilisation, la température et d'autres paramètres spécifiques à chaque type de batterie.

Il est important de noter que la manipulation, le stockage et l'élimination des batteries doivent se faire conformément aux réglementations et aux bonnes pratiques spécifiques à chaque type de batterie pour des raisons de sécurité et de préservation de l'environnement.

II.4.3.2 Contrôleur

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge :

- ✓ Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromécanique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- ✓ Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- ✓ Couplage direct appelé régulateur PWM (Pulse With Modulation).
- ✓ Couplage par adaptateur d'impédance appelé régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Tableau II.2 : Contrôleur de charge PWM et Contrôleur de charge MPPT

Contrôleur de charge PWM	Contrôleur de charge MPPT
Couplage direct du champ PV sur la batterie	Charge de la batterie via un convertisseur abaisseur de tension
La tension nominale de la chaîne PV doit être compatible avec la tension batterie	La tension nominale de la chaîne PV peut être supérieure à la tension batterie
Optimisation énergétique lorsque la température des modules est élevée et que la batterie est presque	Gain énergétique maximal lorsque la température des modules est basse et que la batterie est faiblement

chargée.	chargée
Typiquement adapté pour des petits systèmes PV < 200Wc	Plus adapté pour des puissances PV > 200WC
Nécessite l'utilisation de modules de 36 ou 72 cellules	Possibilité d'utiliser des modules quelque soit le nombre de cellules
Champ PV dimensionné en courant (basé sur le courant de charge de la batterie)	Champ PV dimensionné en puissance (basé sur le courant max de charge x la tension batterie)
Câble PV de grosse section et nécessite une boîte de jonction quand la puissance le justifie	Possibilité de s'affranchir de boîte de jonction dans certains cas et de réduire la section des câbles

II.4.3.4 Bus photovoltaïque

Un "bus photovoltaïque" n'est pas un terme couramment utilisé dans le domaine des systèmes photovoltaïques. Cependant, je peux vous donner une explication plausible en fonction de ma compréhension générale du sujet.

L'utilisation d'un bus photovoltaïque facilite la gestion et la distribution de l'énergie électrique produite par plusieurs systèmes photovoltaïques, en minimisant les pertes d'énergie et en assurant une alimentation électrique fiable et efficace.

Il convient de noter que cette explication est basée sur une interprétation hypothétique du terme "bus photovoltaïque". Si vous avez une signification spécifique ou un contexte particulier en tête, veuillez le préciser pour obtenir une réponse plus précise.

II.4.3.5 Convertisseur boost

Le Convertisseurs DC-DC : Le convertisseur BOOST est connu par le nom d'élévateur de tension peut être représenté par le circuit donne par la Figure III.2. C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec

la charge résistive). L'interrupteur K1 peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).

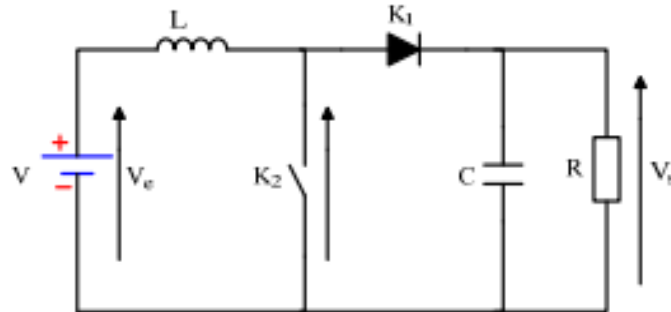
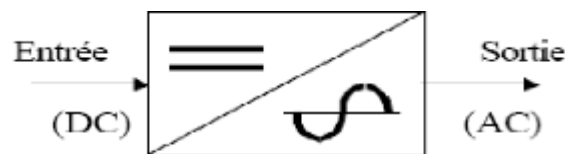


Figure II.31 : Le convertisseur BOOST.

II.4.3.6 Onduleur

Un onduleur est un appareil électrique permettant de transformer la tension / courant continue issue des modules photovoltaïques ou des batteries en tension / courant alternatif .il dit autonome s'il assure de lui-même sa Fréquence et sa forme d'onde



Convertisseur Continu (DC) - Alternatif (AC)

Figure II.32 : schéma de l'Onduleur

Les principales caractéristiques des onduleurs sont

- Puissance nominale.
- Puissance de point ou surcharge.
- Consommation à vide ou.
- Tension d'entrée et de sortie.
- Rendement et la durée de vie

II.4.3.6.1 Onduleur triphasé

Comme il faut générer des créneaux de tension, seuls des interrupteurs sont suffisants (d'où le bon rendement). Pour réaliser ces interrupteurs (qui doivent être commandés facilement), on associe une diode et un transistor.

Un onduleur triphasé est constitué de trois cellules de commutation dont les commandes décalées entre elles d' $1/3$ de période permettent de reconstituer un système triphasé de tensions et de courants. [46]

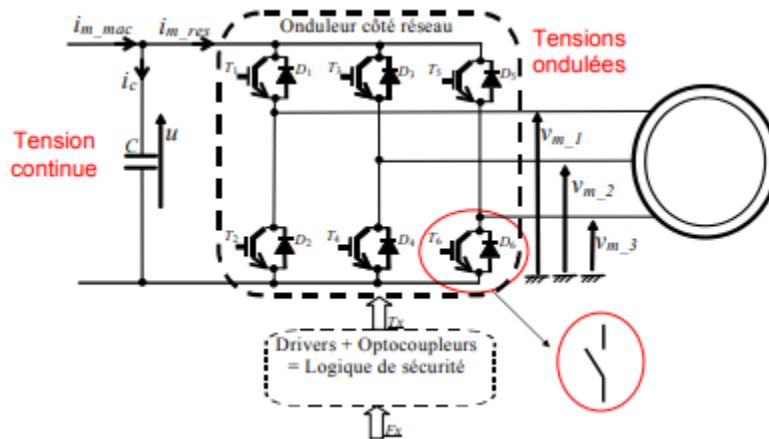


Figure II.33 : schéma de l'Onduleur triphasé

II.4.3.7 La Charge

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque. Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes photovoltaïque, il est importé de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser : charge continue ou alternative.

II.4.4 Contrôle du système photovoltaïque (algorithme MPPT)

COMMANDE MPPT La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV. Pour cette raison, on va présenter et étudier par la suite les algorithmes de commande les plus populaires.

L'algorithme basé sur la logique floue est un algorithme robuste et efficace. En effet, cet algorithme fonctionne au point optimal sans oscillations. En outre, il est caractérisé par un bon comportement en état transitoire. Cependant, l'implémentation de ce type d'algorithme est plus complexe que les algorithmes classiques. De plus, l'efficacité de cet algorithme dépend énormément du tableau d'inférence. Le tableau suivant résume les principales spécifications des différents algorithmes MPPT précédemment étudiés. Nous avons évalué et comparé ces algorithmes en termes de connaissance technique des paramètres du panneau PV, complexité, rapidité et précision.[47,48]

II.4.4.1 Examen des techniques de poursuite du point de puissance maximale

Un panneau photovoltaïque a des caractéristiques courant-tension (I/V) non linéaires. Sa puissance de sortie change avec les conditions atmosphériques. Il existe seulement des points (PPM) où la puissance est maximale.

Pour améliorer l'efficacité d'un système photovoltaïque, il est important de s'assurer que les panneaux solaires sont actionnés au Point de Puissance Maximale (PPM) de manière intentionnelle, indépendamment des variations des conditions atmosphériques. Cela peut être accompli en accordant correctement les panneaux solaires à la charge en utilisant des techniques qui détectent et localisent le PPM de manière mécanique ou électrique, sans avoir à connaître à l'avance l'emplacement du PPM ni sans savoir quand il a été modifié ou pourquoi il a été modifié. La technologie de commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est souvent utilisée pour atteindre cet objectif en ajustant la tension et le courant appliqués aux panneaux solaires en temps réel pour extraire le maximum d'électricité possible. Cela peut augmenter significativement l'efficacité d'un système photovoltaïque et réduire la durée de retour sur investissement.

Le rôle de cette commande MPPT est de faire varier le rapport cyclique du Convertisseur Statique de telle sorte que la puissance fournie par le PV soit le PM disponible à ses bornes . Plusieurs algorithmes de la commande MPPT

ont été développés récemment. Le choix de l'algorithme convenable reste éprouvant et dépend des avantages et des inconvénients de chaque algorithme. Dans notre travail, nous présentons la technique de poursuite du point de puissance maximale:

II.4.4.2 Techniques MPPT

TECHNIQUES MPPT

L'algorithme de commande MPPT initialement utilisé était assez simple, en partie en raison des limitations des calculateurs disponibles à l'époque. Cet algorithme, basé sur un contrôle adaptatif, a été décrit pour la première fois dans le domaine photovoltaïque par A.F. Bohringer. Son principe consiste à maintenir le système photovoltaïque au Point de Puissance Maximale (PPM), comme illustré dans la figure ci-dessous.

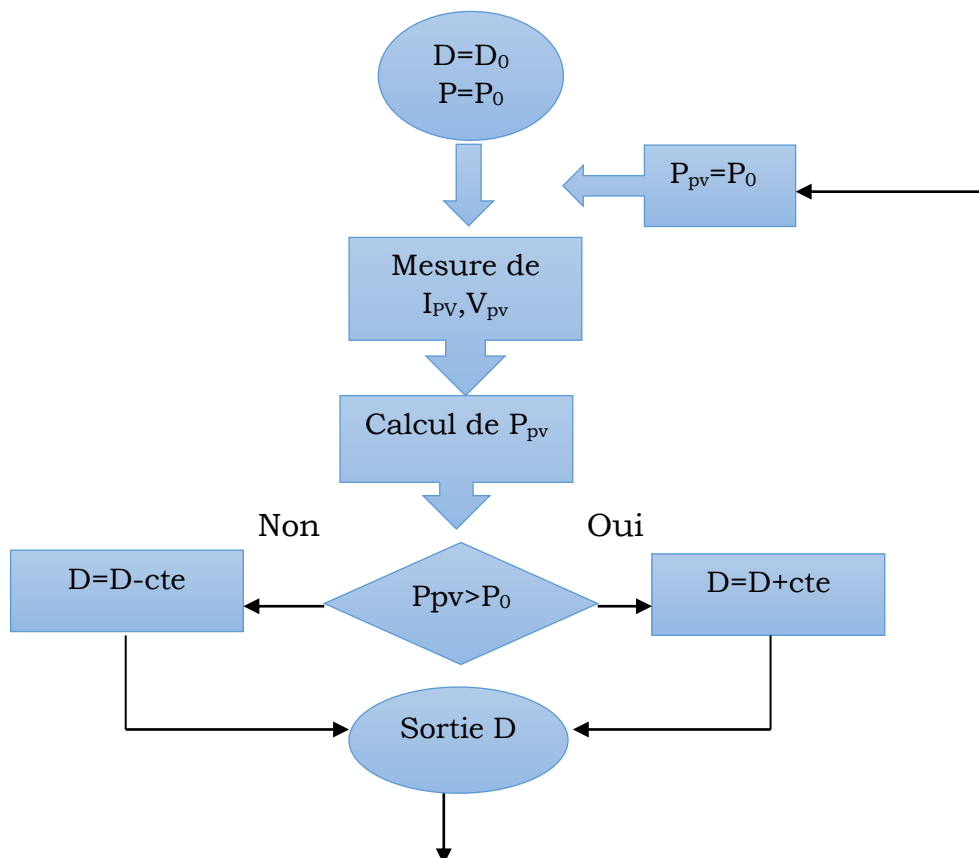


Figure II.34 : Principe de la première technique MPPT numérique

Le tableau suivant résume les principales spécifications des différents algorithmes MPPT précédemment étudiés. Nous avons évalué et comparé ces algorithmes en termes de connaissance technique des paramètres du panneau PV, complexité, rapidité et précision.

Tableau II.3 : TECHNIQUES MPPT

Algorithmes MPPT	P &O	INC	FCO	FCC	LF
Type de Capteurs utilisés	1 tension 1 courant	1 tension 1 courant	1 tension	1 courant	1 courant
Identification des paramètres du panneau PV	Non nécessaire	Non nécessaire	Oui nécessaire	Oui nécessaire	Oui nécessaire
Complexité	Basse	Moyenne	Très Basse	Très Basse	Haute
Nombre d'itérations	45	48	35	41	27
Vitesse de convergence	Moyenne	Moyenne	Rapide	Rapide	Très rapide
Précision	95%	98%	94%	94%	99%

II.4.4.2.1 Perturber et observer (P&O)

Principe des commandes "Perturb and Observe" (P&O) : Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension VPV d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance PPV qui en résulte [49-50], on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension VPV engendre un accroissement de la puissance PPV, 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 PPV(VPV), 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 un ordre de commande approprié.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM.

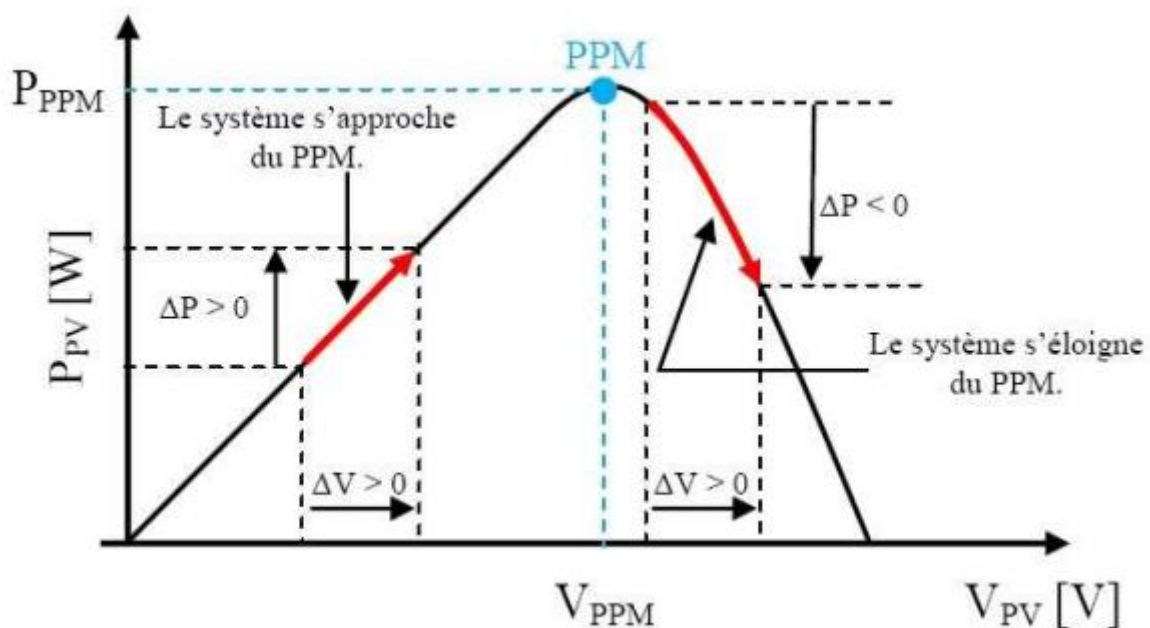


Figure II.35 : Caractéristique PPV (VPV) d'un panneau solaire.

La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée de part sa facilité d'implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d'incrément ralentit la recherche du PPM, il faut donc trouver un compromis entre la précision et la rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser [51].

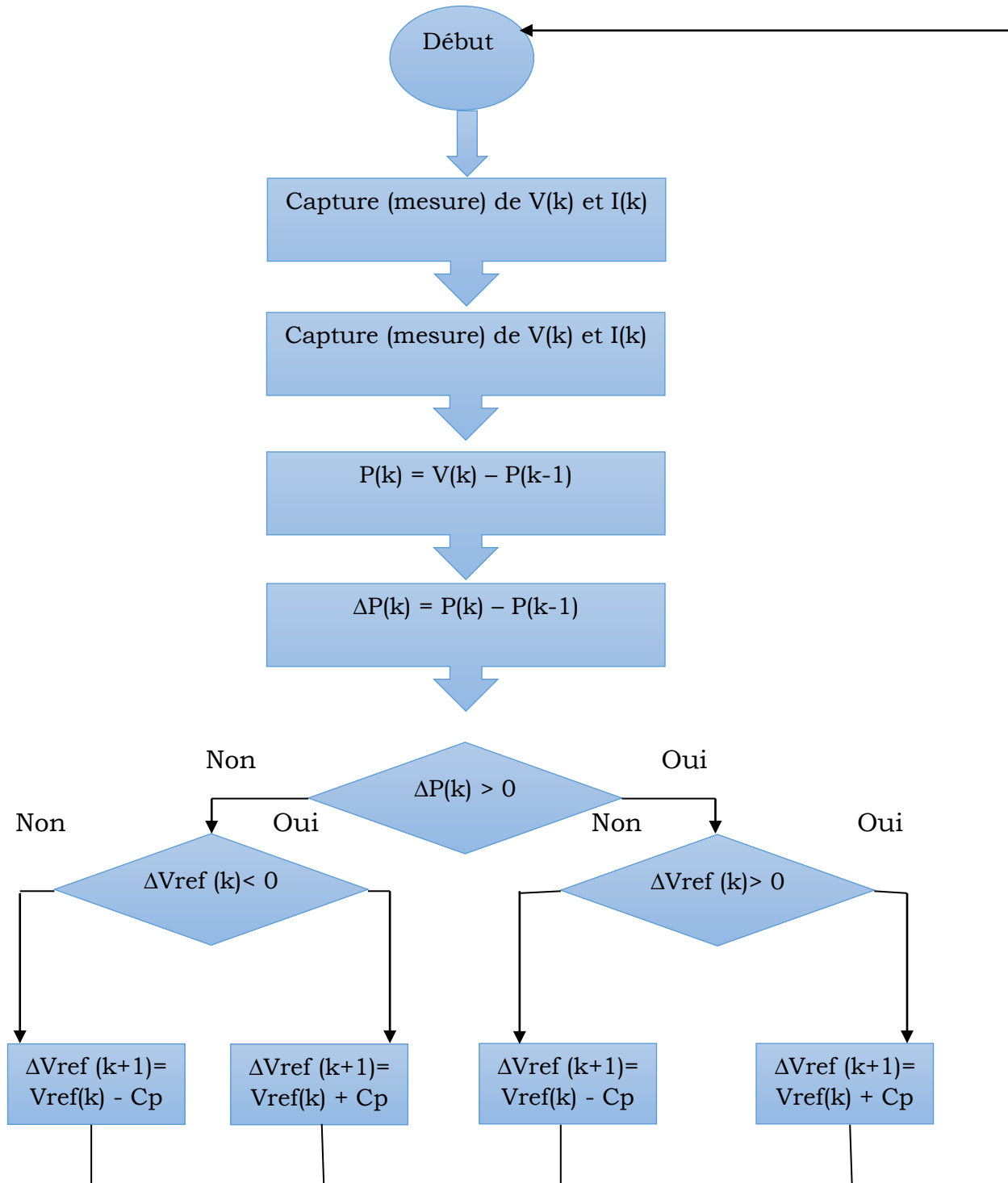


Figure II.36 : Organigramme de l’algorithme MPPT de la perturbation & observation

II.4.4.2.2 Inductance Incrémentale (IC)

L'inductance incrémentale, également appelée inductance différentielle, est une propriété électrique qui mesure la variation de l'inductance par rapport au courant qui la traverse. Elle est souvent représentée par le symbole L' et exprimée en henries par ampère (H/A) ou en millihenries par ampère (mH/A).

Mathématiquement, l'inductance incrémentale est définie comme le rapport de la variation du flux magnétique ($\Delta\Phi$) à la variation du courant (ΔI) :

$$L' = \Delta\Phi / \Delta I$$

L'inductance incrémentale est utilisée pour caractériser le comportement magnétique des matériaux et des composants, tels que les inductances, les transformateurs et les moteurs électriques. Elle est également utilisée dans les analyses de circuits électriques pour comprendre les interactions entre les composants et prédire les performances du système.

II.4.4.2.3 Mode glissant MPPT

La Commande par Mode Glissant, (Sliding Mode Control, SMC) apparue en union soviétique pendant les années 60, qui provient de la théorie des systèmes à structure variable (SSV), permet d'accomplir cette tâche. Cette commande aboutit à la stabilité même en présence de grandes variations de l'alimentation ou de la charge, à une bonne réponse dynamique et à une implémentation simple. [52-53-54].

L'objectif de la commande par mode glissant se résume en deux points essentiels : – Synthétiser une surface telle que toutes les trajectoires du système obéissent à un comportement désiré de poursuite, régulation et stabilité ; – Déterminer une loi de commande qui est capable d'attirer toutes les trajectoires d'état vers la surface de glissement et les maintenir sur cette surface.

La conception de la commande peut être effectuée en trois étapes principales très dépendantes l'une de l'autre :

-L'établissement des conditions d'existences.

-Choix de la surface de glissement.

-Détermination de la loi de commande.

Commande MPPT d'un système PV par mode glissant

La condition du point de puissance maximale PPM est donnée par:

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$$

Avec P_{pv} , V_{pv} , I_{pv} est la puissance, la tension, et le courant de GPV La première étape dans la conception de la commande est le choix de la surface de commutation, qui peut être choisie de la façon suivante :

$$S(x) = \frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}}$$

Si le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM, la commande doit le déplacer vers la surface de glissement en incrémentant la tension ,ceci n'est possible que si . En revanche, si le point de fonctionnement se trouve à droite du PPM, la commande doit le déplacer vers la surface de glissement en décrémentant la tension , et ceci n'est possible que si . Pour cela, la loi de commande de commutation adoptée est celle présentée par l'équation :

$$u = \begin{cases} 0 & \text{pour } S(x) > 0 \\ 1 & \text{pour } S(x) < 0 \end{cases}$$

Qui peut s'écrire aussi:

$$u = \frac{1}{2}(1 - \text{sign}(s))$$

II.5 Conclusion .

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire. Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil.

Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu.

Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au panneau solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil.

Les systèmes photovoltaïques offrent de nombreux avantages, tant sur le plan environnemental que sur le plan économique. En exploitant l'énergie solaire, ils permettent de produire de l'électricité propre, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, d'accroître l'indépendance énergétique et de favoriser le développement durable à long terme.

L'intention de ce travail était d'étudier le fonctionnement de et la modélisation mathématique d'un Pompe ainsi que sa simulation à l'aide de Simulink. Pour cela, la fonction de transfert du pompe a été étudiée, pour ensuite déterminer le même, pour le moteur choisi. J'ai trouvé des difficultés à rassembler toutes les données du moteur car tous les catalogues n'ont pas toutes les informations nécessaires, il était donc nécessaire d'enquêter en profondeur sur quel moteur seraient étudiés puis simulés.

Puis à l'aide de l'outil Simulink et des blocs disponibles sur la plateforme, la fonction de transfert précédemment élevée a été appliquée ainsi que les paramètres construction du moteur. Au départ, il y avait une difficulté à insérer dans l'outil le position solaire, mais en utilisant des vecteurs, il est devenu facile d'appliquer les données pour la simulation. Armé de toutes les données nécessaires, l'enseignant a effectué la simulation montrant qu'avec un système simple et didactique, il est possible d'observer l'augmentation de l'efficacité du panneau.



CHAPITRE III

Réalisation expérimental

III.1. Introduction

Le chapitre III sera consacré à la partie expérimentale pour la validation de la poursuite solaire avec pompage centrifuge d'un système photovoltaïque flottant. Dans ce chapitre on a deux parties : la partie conception (avec logiciel Proteus) et la deuxième partie est la réalisation pratique.

Avant la réalisation pratique de notre maquette, nous ferons la conception et la simulation de ces dernières, pour ce faire nous allons utiliser le logiciel PROTEUS. PROTEUS est un logiciel qui permet de dessiner des schémas électroniques, de les simuler et de réaliser le circuit imprimé correspondant. Ce logiciel comprend deux principaux modules : ISIS

Nous commençant par la partie conception où la description de la carte ARDUINO UNO qui a le rôle de commander les composants de la puissance (Bridge L292, l'affichage avec LCD 16x2,..), ainsi que sa programmation. En suit, on va faire la description des différents composants de la partie puissance (Panneaux.....).

Dans la deuxième partie où la validation expérimentale de notre travail va être discutée.

III.2. Description du système

III.2.1 La carte Arduino UNO Rev3 :

Dans un premier temps, nous allons voir la description et la mise en œuvre de la carte ARDUINO UNO, on verra ensuite ses avantages et son alimentation puis la protection du port USB contre la surcharge en intensité et la gestion de la mémoire ainsi que les entrées sorties numériques et la communication avec l'extérieur. Nous terminons avec le microcontrôleur Atmega328.

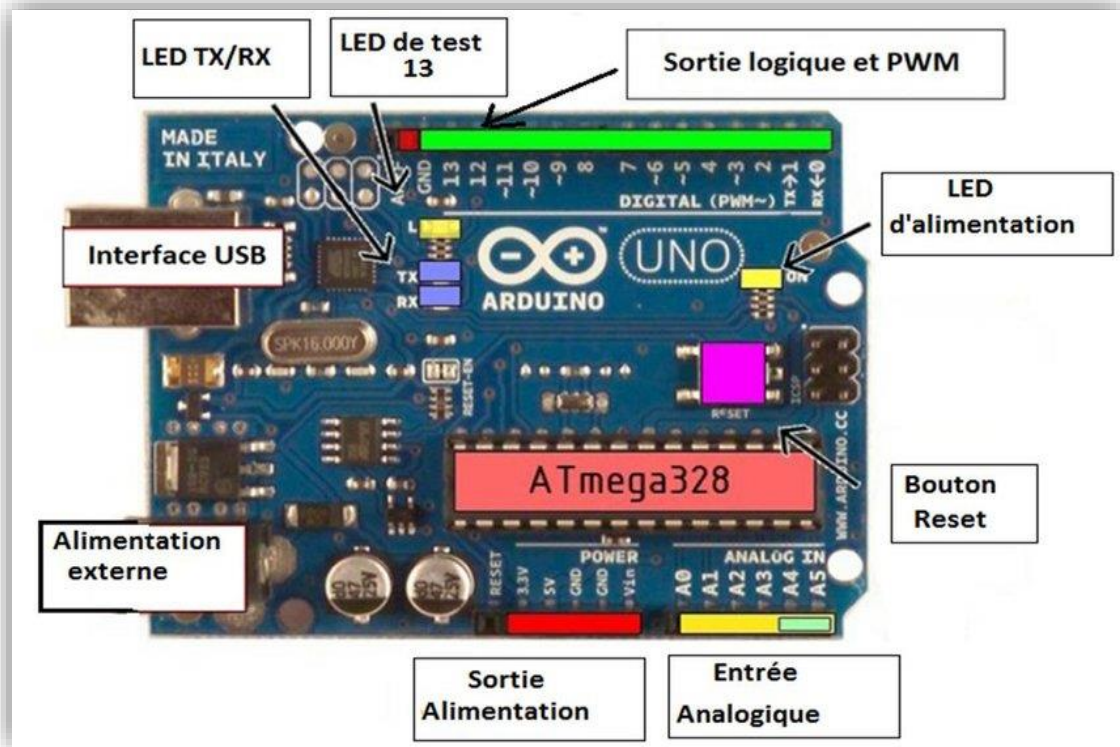


Figure III.1 : La carte Arduino UNO Rev3

L'Arduino est une carte électronique en Matériel Libre pour la création artistique interactive. Elle peut servir:

1. pour des dispositifs interactifs autonomes simples.
2. comme interface entre capteurs/actionneurs et ordinateur.
3. comme programmeur de certains microcontrôleurs.

La carte Arduino qu'on l'a utilisé c'est bien « Arduino UNO » (voir figure III.4), C'est la première version stable des cartes Arduino. Elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation. Elle utilise une puce ATmega328 .

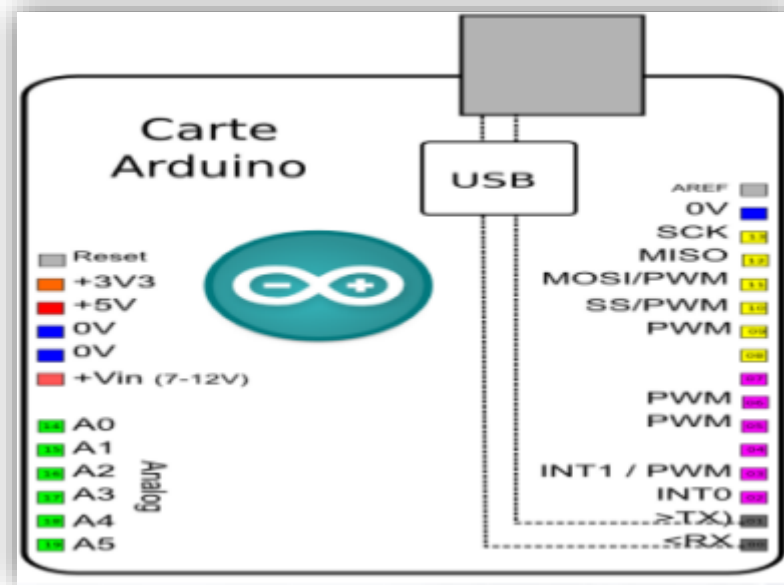


Figure III.2 : les différentes broches de la carte ARDUINO UNO

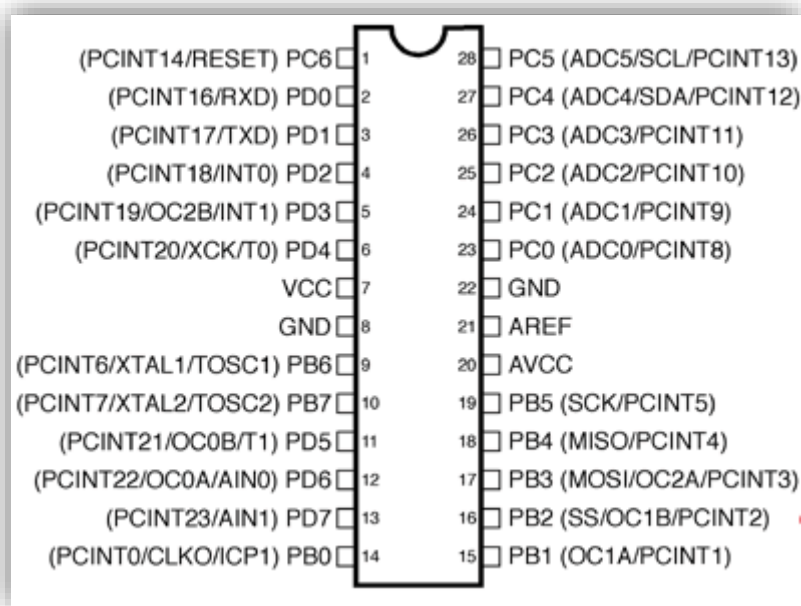


Figure III.3 : Atmega328

III.2.3 Panneau solaire 5W - 9V pour pompe 9-12V DC

Ce panneau solaire 5W / 9V, est idéal pour les pompes basse tension 9-12V. Le panneau solaire 5W est muni d'un connecteur compatible avec le câble de la pompe. Il est également fourni avec un pied et rotule d'orientation dans le

cas d'une fixation au sol. Ce panneau solaire est identique au panneau solaire du kit pompe solaire bassin LED, également en vente sur notre site.



Figure III.4 : Panneau solaire 5W - 9V (Welion)

III.2.4 Photo résistance :

Nous utilisons quatre résistances dépendant de la lumière comme un capteur. Ils sentent la zone de plus forte densité de la lumière du soleil. Le panneau solaire se déplace vers la zone de faible densité élevée par des servomoteurs.

Chaque LDR est connecté à l'alimentation formant un diviseur potentiel. Ainsi, toute variation de la densité de lumière est proportionnelle à la variation de la tension aux bornes de la LDR [55]



Figure III.5 : LDR

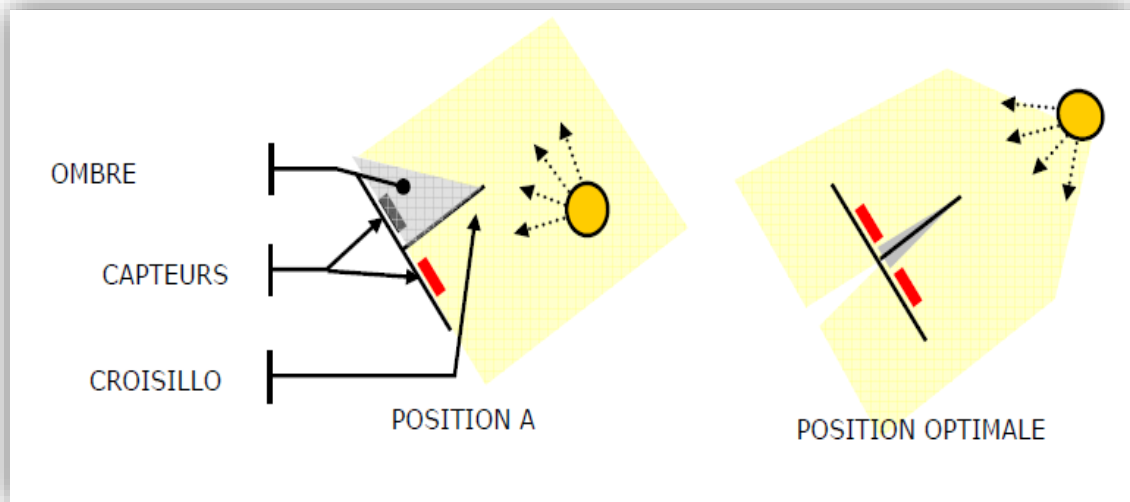


Figure III.6 : Fonctionnement des capteurs

III.2.5 pompe à eau de 12V

Une pompe à eau de 12 V est une pompe électrique qui utilise un moteur électrique alimenté par une tension de 12 V pour pomper des liquides à travers un tuyau. Elle est souvent utilisée dans les applications de refroidissement, de transfert de liquides et de systèmes de distribution d'eau.



Figure III.7 : pompe à eau de 12V

III.2.6 Module L298N - Contrôler Moteur :

Ce module de commande de moteur L298N est un module de commande de moteur haute puissance pour la commande de moteurs à courant continu et pas à pas. Ce module se compose d'un circuit intégré de commande de moteur L298 et d'un régulateur 78M05 5V. Le module L298N peut contrôler

jusqu'à 4 moteurs à courant continu ou 2 moteurs à courant continu avec contrôle directionnel et de vitesse. [56]

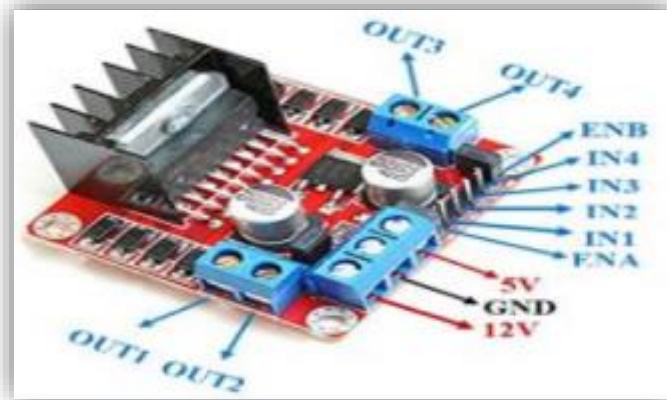


Figure III.8 : Module L298N

❖ **L298N Module Pin Configuration:**

Tableau III.1: L298N Module Pin Configuration

Nom de la broche	Description
IN1 & IN2	Broches d'entrée du moteur A. Utilisé pour contrôler le sens de rotation du moteur A
IN3 & IN4	Broches d'entrée du moteur B. Utilisé pour contrôler le sens de rotation du moteur B
ENA	Active le signal PWM pour le moteur A
ENB	Active le signal PWM pour le moteur B
OUT1 & OUT2	Broches de sortie du moteur A
OUT3 & OUT4	Broches de sortie du moteur B
12V	Entrée 12V de la source d'alimentation CC
5V	Alimente le circuit logique de commutation à l'intérieur du L298N IC
GND	Broche de terre

III.2.7 Système de commande à réalisé

Figure IV.16 représente le schéma synoptique du système PV alimente une charge résistive qui aura réalisé. Ce système PV est composé d'un module Photovoltaïque P-5W (Welion), un circuit de puissance composé d'un convertisseur et d'une charge résistive et un circuit de commande composé d'une carte Arduino UNO Un capteur de tension, un capteur de courant ACS712.

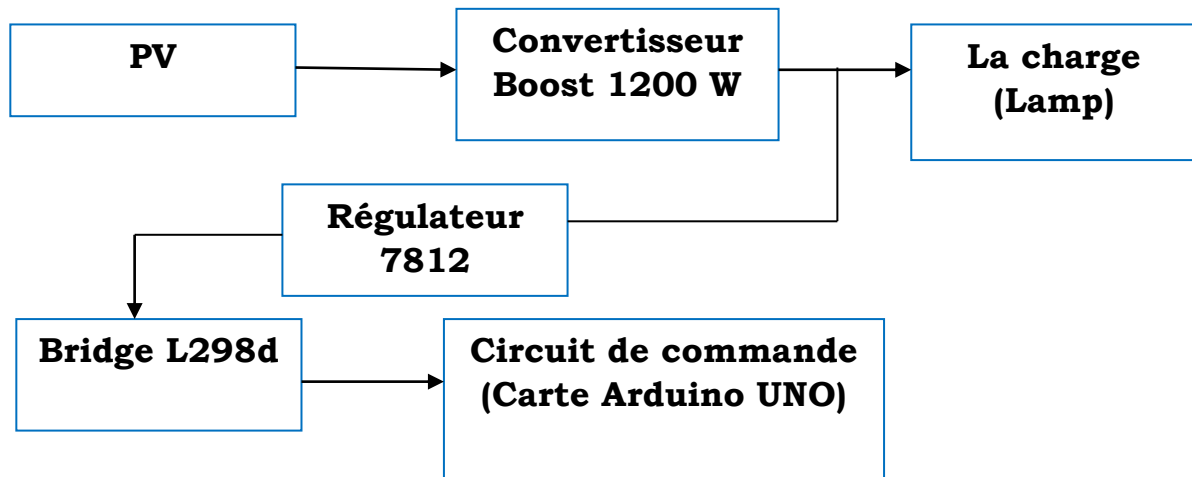


Figure III.9 : Schéma synoptique de la carte de commande.

Dans cette partie, nous présentons les différents composants du système PV, tel que le module PV, le convertisseur survolteur, le capteur de courant et le capteur de tension.

III.2.8 Capteur de courant ACS712

Le dispositif ACS712 Allegro offre un moyen économique et précis de détection de courants AC et DC. Ce capteur de courant Allergo ACS712 est basée sur le principe de l'effet Hall, qui a été découvert par le Dr Edwin Hall en 1879 selon ce principe, quand un conducteur de courant est placé dans un champ magnétique déposé, une tension est générée sur ses bords perpendiculaires à la direction à la fois du courant et du champ magnétique [57] .



Figure III.10 : Capteur de courant ACS712

La sortie du dispositif a une pente positive lorsqu'un courant augmentant circule à travers le chemin de conduction de cuivre. Le ACS712-30A peut mesurer le courant jusqu'à $\pm 30A$ et fournit la sensibilité de sortie de 66 mV/A (à $+5V$), qui signifie que pour chaque augmentation de $1A$ dans le courant à travers les bornes de conduction dans le sens positif, la tension de sortie augmente aussi par 66 mV . Au zéro de courant, la tension de sortie est la moitié de la tension d'alimentation

($V_{cc} / 2$). Il est à noter que la sortie fournit ACS712 ratio métrique, ce qui signifie que le courant de sortie de zéro et la sensibilité de l'appareil sont à la fois proportionnel à la tension d'alimentation V_{CC} . Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour l'utilisation de la ACS712 avec un convertisseur analogique-numérique.

III.2.9 Capteur de tension

Le diviseur de tension peut détecter la tension d'alimentation jusqu'à $25V$. ce module diviseur de tension (voir **Figure IV.24**) est basé sur le principe diviseur de résistance. Le module de détection de tension permet à la tension d'entrée pour réduire la 5 fois. Comme la tension d'entrée analogique Arduino est à $5V$, si la tension d'entrée de tension module de détection ne peut pas être supérieure à la $5V \times 5 = 25V$



Figure III.11 : capteur de tension pour Arduino

Comme la tension d'entrée analogique Arduino est à 5V et si nous admettons que la tension maximale délivrée par le générateur photovoltaïque est de 50V (marge de sécurité). Alors, le rapport entre les deux tensions est de 10. Dans ce travail, On a choisi $R_2=4.7k\Omega$, $R_1=47k\Omega$.

III.2.10 Convertisseur élévateur de tension SZ-BT07CCCV 1200W 20A DC CONVERTISSEUR BOOST STEP UP MODULE D'ALIMENTATION ENTRÉE 10-60V SORTIE 12-83V

Il s'agit d'un module de convertisseur de puissance cc non isolé avec une longue durée de vie. Puissance élevée et sortie stable, il convertit 10-60VDC en 12-83VDC.

Des composants de haute qualité assurent une efficacité de conversion élevée, jusqu'à 97%.

Conçu avec un ventilateur de contrôle de température intelligent, qui fonctionnera automatiquement lorsque la température atteint environ 60 ° et s'arrête lorsque la température descend en dessous de 60 °.

Largement utilisé pour la conduite de lampadaire solaire à haute puissance, divers éclairages LED pour la conduite CV, alimentation électrique montée sur véhicule et appareil mobile, alimentation électrique réglable CV CC, charge d'énergie solaire, et chargement de diverses batteries.



Figure III.12 : Convertisseur BOOST SZ-BT07CCCV

III.2.11 l'afficheur LCD 16x2 :

L'écran LCD 16x2 est un écran qui peut afficher 2 lignes avec 16 caractères par ligne (simultanément). La couleur des caractères est noir et l'écran a un fond vert. Cela le rend également lisible dans l'obscurité. Le contraste est réglable. Grâce au module I2C pré-soudé, vous avez besoin de moins de ports IO. Vous pouvez facilement connecter l'écran à un Arduino, Raspberry Pi, ESP32, ESP8266, etc. Il y a 4 fils pour contrôler l'écran : GND, VCC, SDA, SCL.

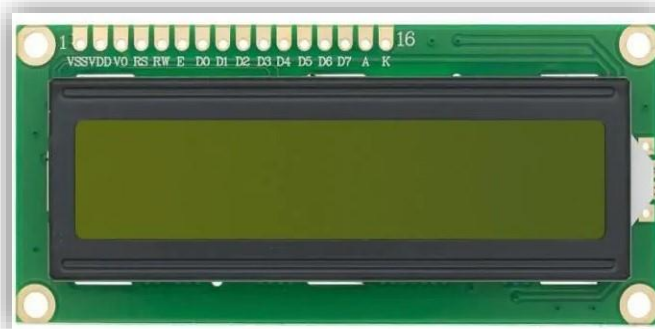


Figure III.13 : LCD 16x2

III.2.12 Plaque d'essai (breadboard) :

Une plaquette ou plaque d'essai sans soudures est un outil pédagogique indispensable pour découvrir l'électronique. Son principal avantage est de permettre de réaliser des montages rapidement sans souder aucuns composants. Il est donc possible de réutiliser les composants. [58]

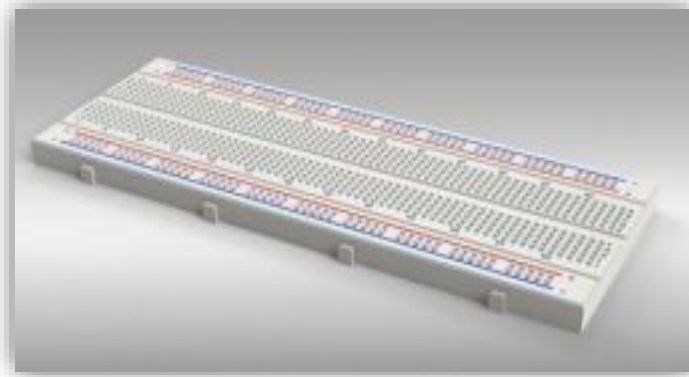


Figure III.14 : Plaque d'essai (breadboard)

III.2.13 Fils de connexion :

C'est un fil électrique qui relie les dipôles d'un circuit entre eux. Son rôle est de permettre au courant électrique de circuler entre ces dipôles. Les fils de connexion sont utilisés au collège car ils permettent de réaliser facilement des connexions.



Figure III.15 : Fils de connexion

III.3. Les résultats expérimentale avec Matlab et (poteus) Teste de robustesse

III.3.1

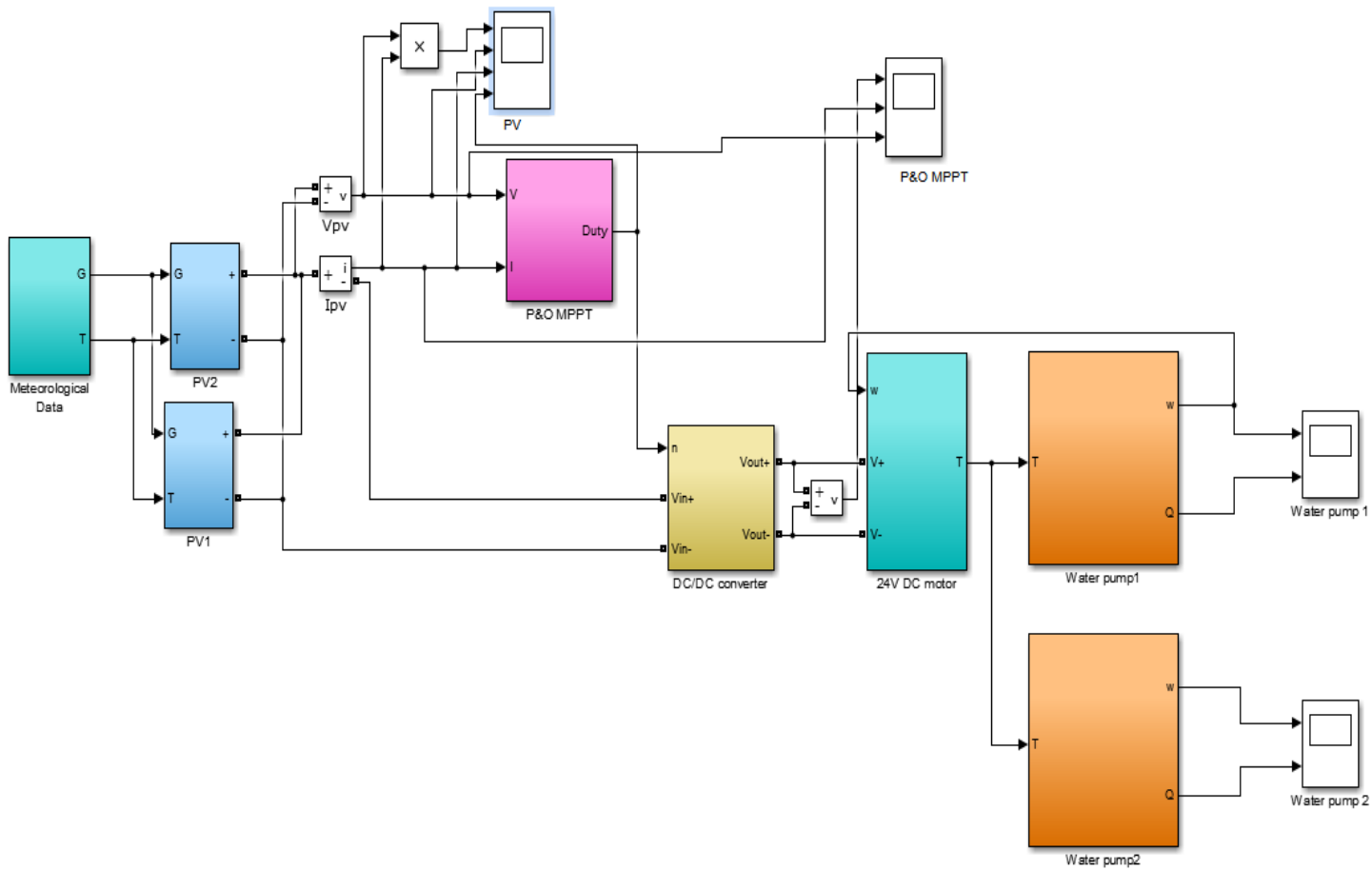


Figure III.16 : Simulation d'un Module PV et MPPT et convertisseur avec deux pompe par Matlab

III.3.2 : Les Courbes

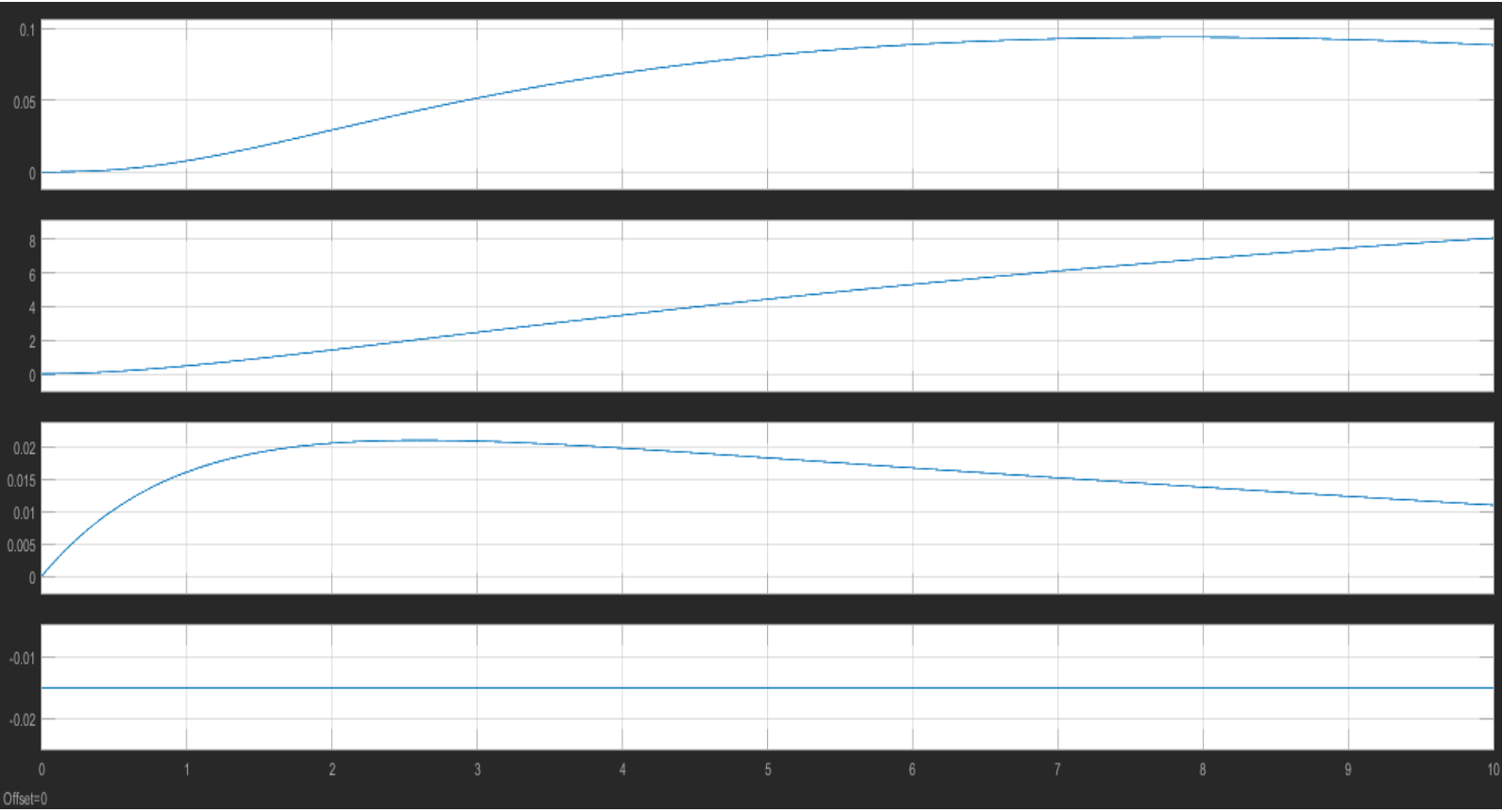


Figure III.17 : Courbe du P&O MPPT

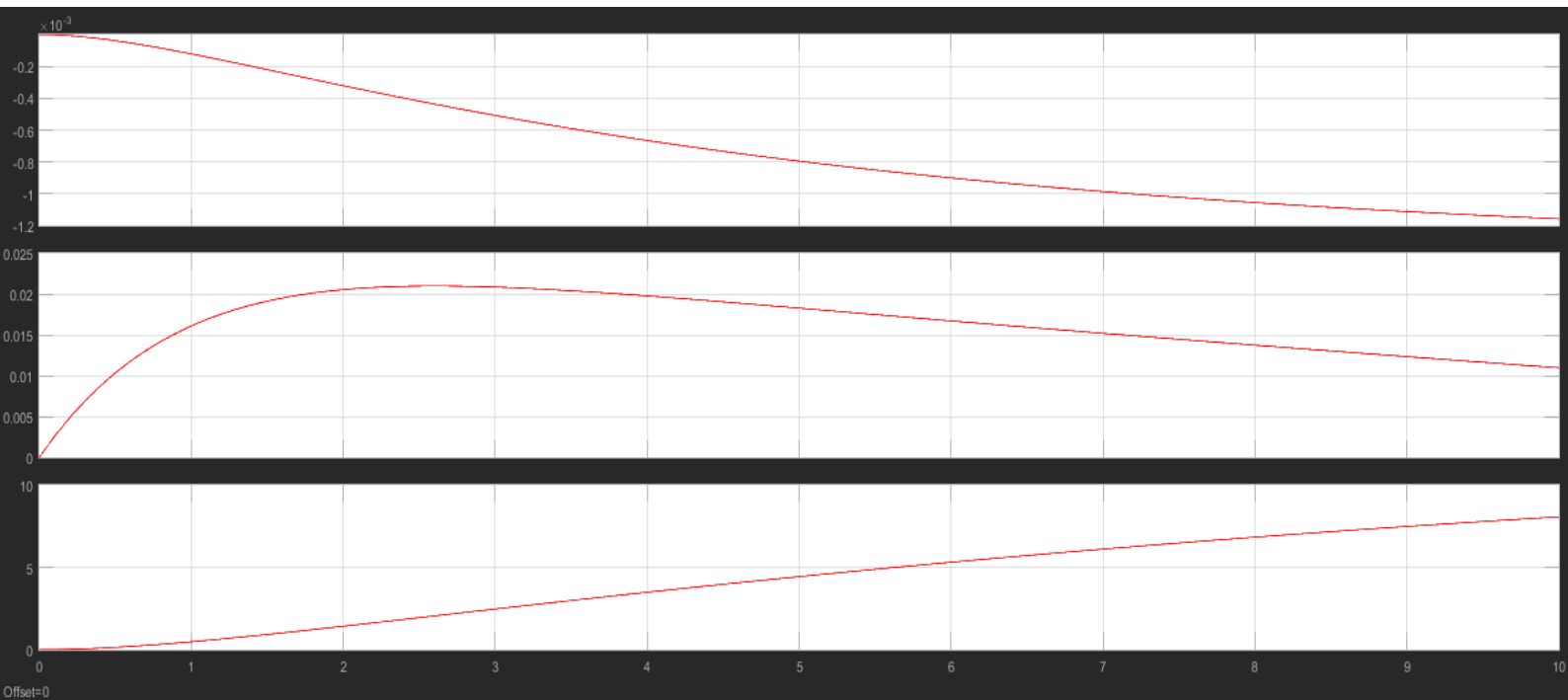


Figure III.18 : Coube Du panneau solaire

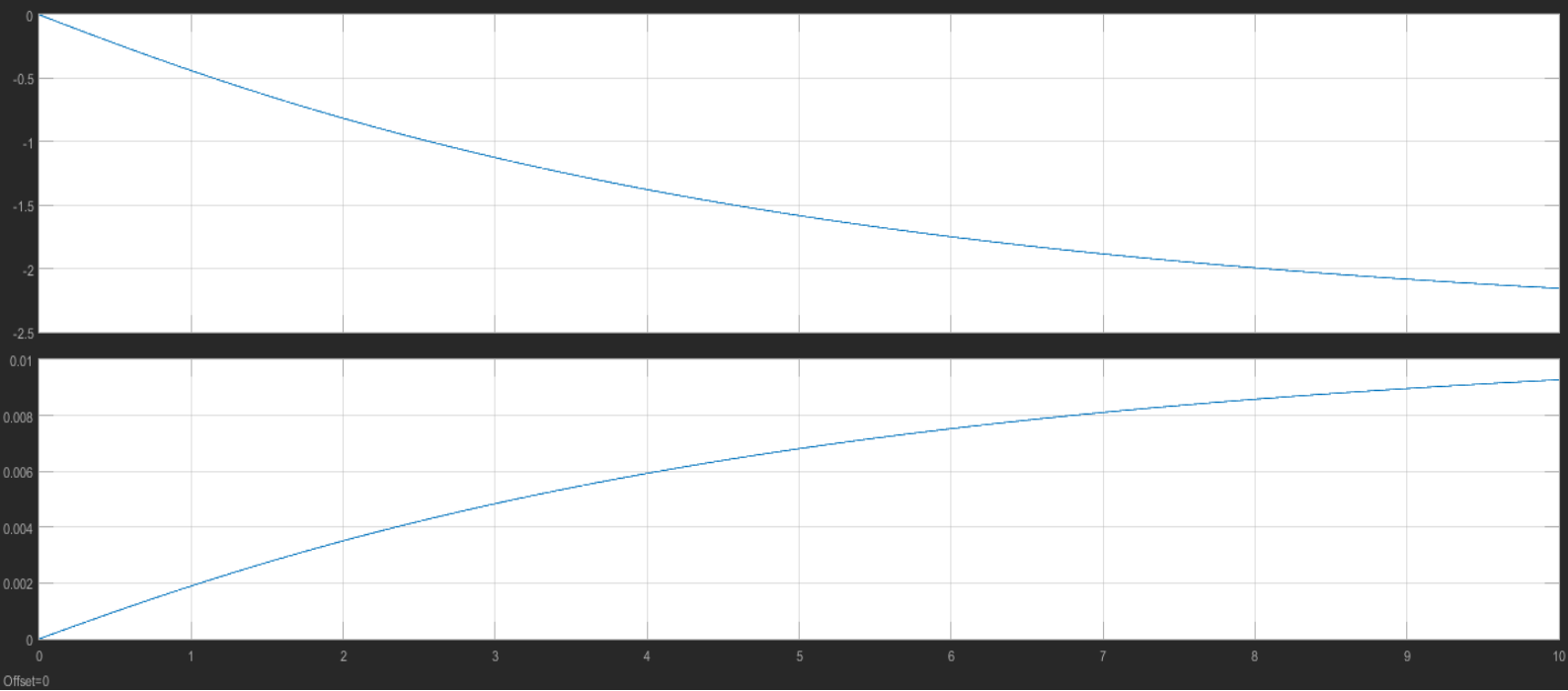


Figure III.19 : Courbe de la pompe 1

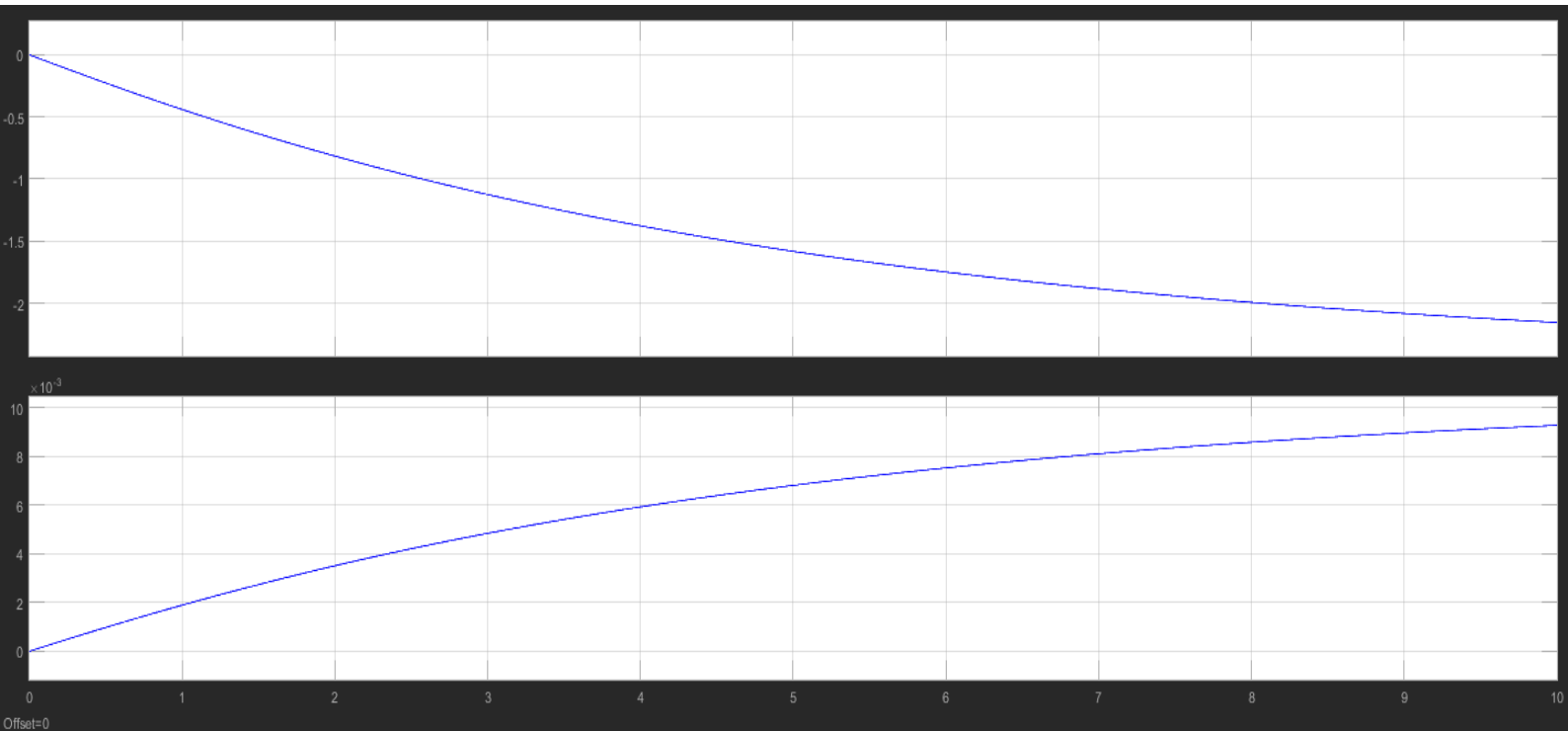


Figure III.20 : Courbe de la pompe 2

III.3.3 Programme Arduino :

```
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h> //library for LCD

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(11, 10, 5, 4, 3, 2);

//Measuring Current Using ACS712
int sensitivity = 185; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int adcvalue= 0;
int offsetvoltage = 2500; //Sensor Callibration
double Voltage = 0; //voltage measuring
double ecurrent = 0;// Current measuring
int ldr1 = A5 ;
int val1 ;
int ldr2 = A4 ;
int val2 ;
int OUT_Motor_1 = 6;
int OUT_Motor_2 = 7;
int OUT_Motor_3 = 8;
int OUT_Motor_4 = 9;
int RED_LED = 13;
int GREEN_LED = 12;
int tolerance = 20;
void setup() {
  lcd.begin(16,2); // set up the LCD's number of columns and rows:
  pinMode (ldr1, INPUT) ;
  pinMode (ldr2, INPUT) ;
  pinMode (OUT_Motor_1, OUTPUT) ;
  pinMode (OUT_Motor_2, OUTPUT) ;
  pinMode (OUT_Motor_3, OUTPUT) ;
  pinMode (OUT_Motor_4, OUTPUT) ;
  pinMode (RED_LED, OUTPUT) ;
  pinMode (GREEN_LED, OUTPUT) ;
  Serial.begin(9600);
```

```
}  
void loop(){  
  
int val1= analogRead (ldr1); // read the value of ldr 1  
Serial.println (val1);  
int val2= analogRead (ldr2); // read the value of ldr 2  
Serial.println (val2);  
delay (500);  
if((abs(val1 - val2)<= tolerance) || (abs(val2 - val1)<= tolerance))  
{  
  
analogWrite (OUT_Motor_1, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_2, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_3, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_4, 0);  
digitalWrite (GREEN_LED, LOW ) ;  
digitalWrite (RED_LED, HIGH);  
  
}else if (val2<val1) { // if ldr1 senses more light than ldr2  
  
analogWrite (OUT_Motor_1, 255);  
analogWrite (OUT_Motor_2, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_3, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_4, 255);  
digitalWrite (RED_LED, LOW);  
digitalWrite (GREEN_LED, HIGH ) ;  
  
} else if (val1<val2){ // if ldr2 senses more light than ldr1  
  
analogWrite (OUT_Motor_1, 255);  
analogWrite (OUT_Motor_2, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_3, 0);  
analogWrite (OUT_Motor_4, 255);  
digitalWrite (GREEN_LED , HIGH) ;  
digitalWrite (RED_LED , LOW ) ;  
}  
}
```

```
// Measure The Votage *****
// read the input on analog pin A1:
int sensorValue = analogRead(A1);
// Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
float vol = (sensorValue * 5.0) / 1023.0;

float voltage = vol * 5;
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Voltage= ");
lcd.print(voltage);
lcd.print("V");

// Measure The Current *****
adcvalue = analogRead(A0); //reading the value from the analog pin A0
Voltage = (adcvalue / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
ecurrent = ((Voltage - offsetvoltage) / sensitivity);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Current= ");
lcd.print(ecurrent);
lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
delay(2000);
}
```

Figure III.21: Programme Arduino

III.3.4 Schéma de commande : (avec Proteus)

La conception de cette maquette sur ISIS est faite selon nos besoins d'alimentation.

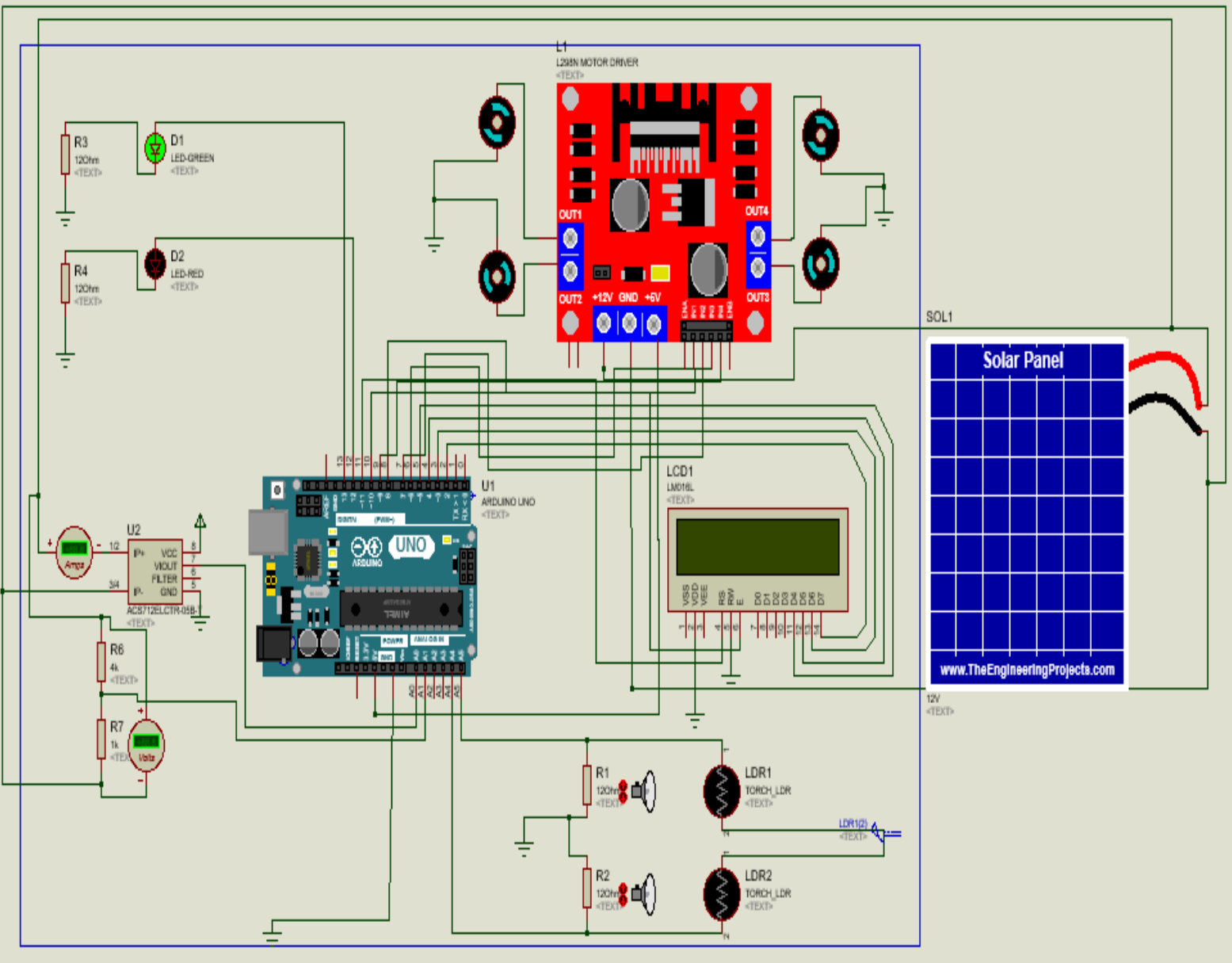


Figure III.22 : le branchement de la maquette. (avec Proteus)

III.3.5 Organigramme de notre système

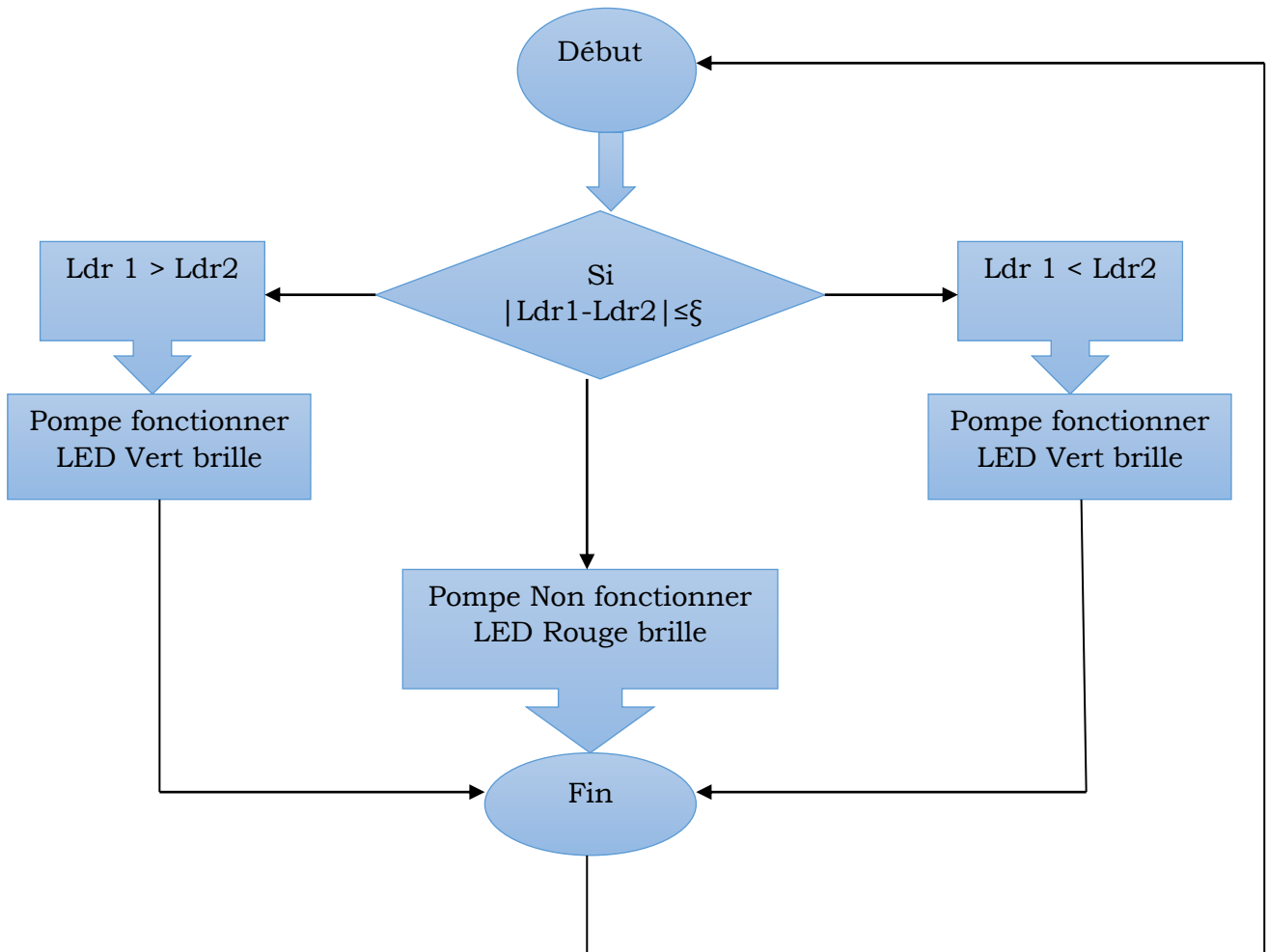


Figure III.23: Organigramme de notre système



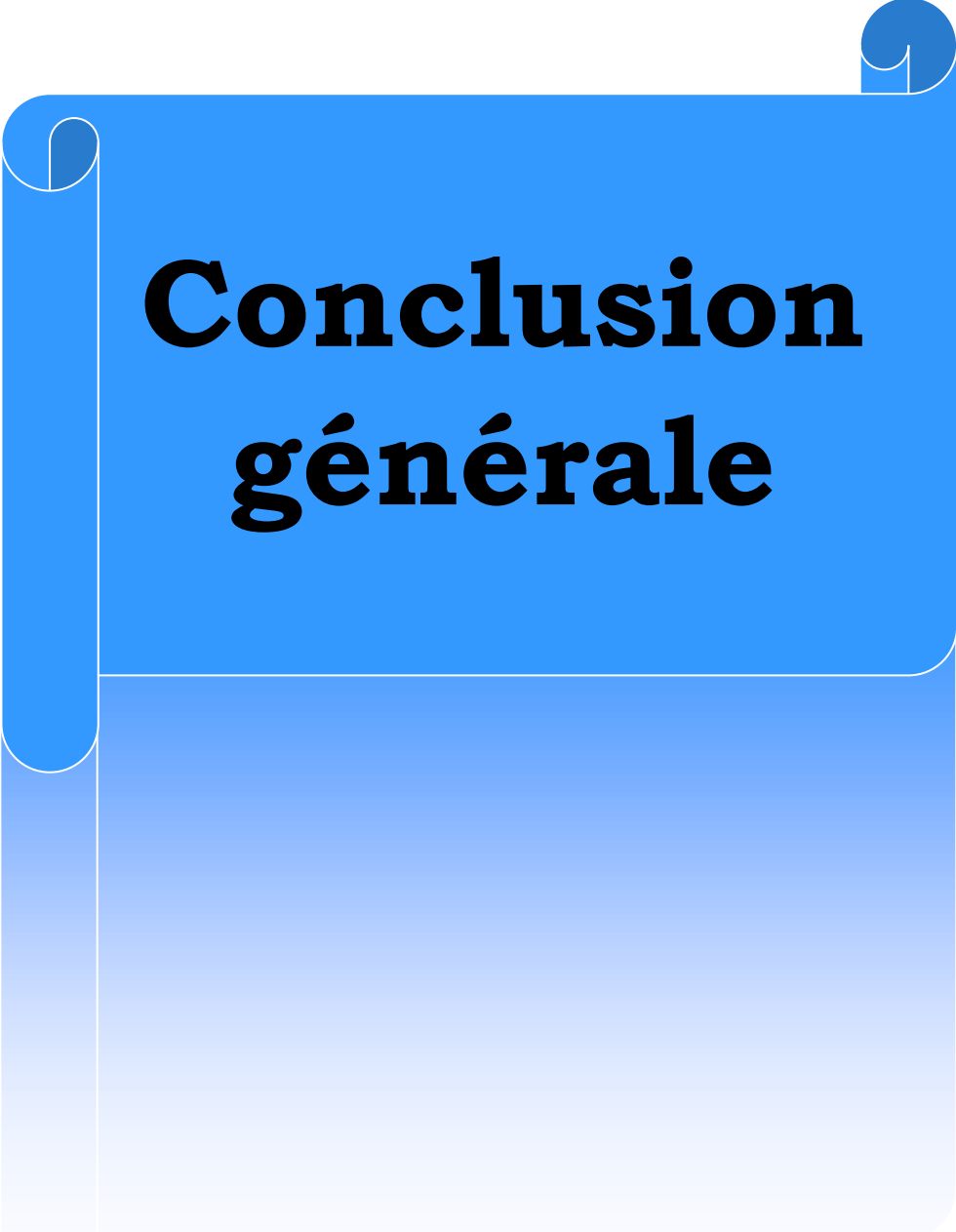




Figure III.24: Notre maquette de poursuite solaire avec pompage dans système photovoltaïque.

III.4.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné la description des composants a utilisé dans la réalisation de notre maquette, nous avons aussi développé un organigramme qui va nous aider à la conception de la partie logic

A decorative graphic consisting of a blue scroll-like shape with rounded corners and a white outline, positioned on the left side of the page. It contains the text 'Conclusion générale' in a bold, black, sans-serif font.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

En conclusion, l'application de la poursuite solaire avec pompage dans un système photovoltaïque flottant présente des avantages potentiels intéressants. Voici les points clés à retenir :

Maximisation de l'énergie solaire : Les systèmes photovoltaïques flottants bénéficient déjà d'un avantage en captant davantage d'énergie solaire en raison de la réflexion de la lumière sur l'eau. En ajoutant la poursuite solaire, les panneaux peuvent suivre le mouvement du soleil tout au long de la journée, maximisant ainsi la quantité d'énergie solaire captée.

Augmentation de l'efficacité : Le pompage de l'eau du système photovoltaïque flottant peut servir à plusieurs fins bénéfiques. Par exemple, l'eau pompée peut être utilisée pour le nettoyage régulier des panneaux solaires, améliorant ainsi leur efficacité en éliminant les saletés et les dépôts qui pourraient les obstruer. De plus, le pompage de l'eau peut également contribuer à refroidir les panneaux, ce qui peut améliorer leur performance.

Adaptabilité aux plans d'eau variables : Les systèmes photovoltaïques flottants avec poursuite solaire et pompage peuvent être adaptés à différents plans d'eau, qu'il s'agisse de lacs, de réservoirs ou de bassins de rétention. Cette flexibilité permet d'exploiter les avantages de la poursuite solaire tout en minimisant l'utilisation des terres, ce qui peut être particulièrement bénéfique dans les zones où l'espace est limité.

Défis techniques et coûts : Il convient de noter que la mise en œuvre de la poursuite solaire avec pompage dans un système photovoltaïque flottant peut présenter des défis techniques et des coûts supplémentaires. La conception du système doit prendre en compte les conditions environnementales telles que les vagues, les vents et les courants. De plus, l'entretien régulier et la surveillance du système peuvent nécessiter des ressources supplémentaires.

Conclusion générale

Avantages pour l'environnement Les panneaux solaires flottants sont bons pour l'environnement. L'eau offre un effet de refroidissement pour les modules PV. Cependant, ils réduisent également l'évaporation de ces masses d'eau, cruciales dans les zones sensibles aux sécheresses. De plus, le fait que les panneaux solaires flottent sur l'eau réduit la prolifération d'algues dans les plans d'eau douce. La prolifération d'algues peut entraîner des complications pour la santé lorsqu'elle apparaît dans les sources d'eau potable. Ils peuvent également entraîner la mort d'animaux et de plantes dans les plans d'eau. Les panneaux solaires flottants génèrent de l'énergie propre. L'utilisation des énergies renouvelables aide à réduire la dépendance à l'électricité produite par les combustibles fossiles. En conséquence, il y a une réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Amélioration des performances solaires Bien que les panneaux solaires puissent bien fonctionner à des températures élevées, leur efficacité peut diminuer avec le temps . Lorsque les températures augmentent, leur efficacité diminue également. Lorsque vous installez des modules PV sur des plans d'eau, l'eau fournit un effet de refroidissement qui améliore leur efficacité.

En résumé, la poursuite solaire avec pompage dans un système photovoltaïque flottant offre la possibilité d'augmenter l'efficacité énergétique et d'optimiser la production d'électricité grâce à la combinaison de la poursuite solaire et du pompage. Cependant, des études spécifiques de faisabilité technique et économique doivent être menées pour évaluer la pertinence de cette approche dans un contexte donné



Annexe

Annexe 1 :Expansion des centrales photovoltaïques flottantes dans le monde

Année	Pays	Ville	kW
2015	Japon	Umenoki	7 750,4
2015	Japon	Kato-sh	2 870,3
2015	Japon	hyōgo	2 313,4
2015	Japon	Hyōgo	2 313,0
2015	Japon	Funatsu Osawa	1 485,0
2015	Japon	hanamidai	1 153,1
2015	Japon	Saitama	1 153,0
2015	Japon	nara	1 125,0
2015	Japon	Hirai-Ike	1 125,0
2015	Japon	Fuku-ike	1 076,4
2015	Japon	hyōgo	1 076,0
2015	Japon	Sawa-ike	1 008,0
2015	Japon	fukuoka	528,0
2015	Japon	aïchi	460,0
2015	Japon	hyōgo	1 700,0
2015	Japon	hyōgo	1 700,0
2015	Japon	hyōgo	1 485,0
2015	Japon	Osaka	504,0
2015	Japon	hyōgo	1 500,0
2015	Japon	Ibaraki	1 330,0
2015	corée	chungcheonbuk	495,0
2015	corée	Gyeongsang Bukdo	3 000,0
2015	corée	Gyeongsang Bukdo	3 000,0
2015	Malaisie	ville de sepang	108,0
2015	Pays-Bas	rotterdam	33,0
2015	Corée du Sud	o-chang	494,5
2015	Suède	Bor	13,0
2015	Royaume-Uni	village de benacre	100,0
2015	Royaume-Uni	yorkshire du sud	471,0

Annexe

2015	Japon	hyōgo	1 176,0
2015	Japon	hanamidai	1 153,1
2015	Japon	Saitama	1 153,0
2015	Japon	nara	1 125,0
2015	Japon	Hirai-Ike	1 125,0

Annexe

Année	Pays	Ville	kW
2015	Japon	Fuku-ike	1 076,4
2015	Japon	hyōgo	1 076,0
2015	Japon	Sawa-ike	1 008,0
2015	Japon	fukuoka	528.0
2015	Japon	aïchi	460,0
2015	Japon	hyōgo	1 700,0
2015	Japon	hyōgo	1 700,0
2015	Japon	hyōgo	1 485,0
2015	Japon	Osaka	504.0
2015	Japon	hyōgo	1 500,0
2015	Japon	Ibaraki	1 330,0
2015	Corée	chungcheonbuk	495,0
2015	Corée	Gyeongsang Bukdo	3 000,0
2015	Corée	Gyeongsang Bukdo	3 000,0
2015	Malaisie	ville de sepang	108,0
2015	Pays-Bas	Rotterdam	33,0
2015	Corée du Sud	o-chang	494.5
2015	Suède	Bor	13.0
2016	Royaume-Uni	Londres	6 338,0
2016	Royaume-Uni	Godley	2 991,0
2016	Chine	Province d'Anhui	20 000,0
2016	Italie	Italie	343,0
2016	Japon	Osaka	1 000,0
2016	Japon	hyōgo	990,0
2016	Japon	hyōgo	630,0
2016	Japon	Chiba	59,0
2016	Japon	Japon Mie	2 449,0
2016	Chine	Province d'Anhui	20 000,0
2016	Italie	Italie	343,0
2016	Japon	Osaka	1 000,0
2016	Japon	hyōgo	990,0

Annexe

2016	Japon	hyōgo	630,0
2016	Japon	Chiba	59,0
2016	Japon	Japon	2 449,0
2017	Japon	Province d'Anhui	40 000,0

Expansion des centrales photovoltaïques flottantes dans le monde

Annexe

Annexe 2 : Installations installées dans le monde

Aichi, JAPAN,
National Institute of Advanced
Industrial Science & Technology
- 20kW

Far Niente Wineries,
CALIFORNIA (US),
SPG Solar - 175kW

Gundlach Bunshu Wineries,
CALIFORNIA (US),
SPG Solar - 30kW

Bubano, ITALY,
Bryo - 500kW

Agost, SPAIN
CELEMIN ENERGY & Polytechnic
University of Valencia - 24kW



Solarolo, ITALY,
D.A.I.E.T. - 20kW

Petra Winery, ITALY,
Terra Moretti Holding
- 200kW

Agost, SPAIN (Expansion)
CELEMIN ENERGY & Polytechnic
University of Valencia - 300kW

Lake Colignola, ITALY,
Scienza Industria
Technologia - 30kW

Avetrana, ITALY,
D.A.I.E.T. - 20kW



Piolenc, FRANCE,
Ciel et Terre - 14kW

Petaluma, CALIFORNIA (US),
SPG Solar - 350kW

Vendée, FRANCE,
Osesol - 4kW

Canoe Brook Water Treatment
Facility, NEW JERSEY (US),
ENERActive - 112kW

Cheongju, SOUTH KOREA,
Techwin - 20kW



Hapcheon Dam,
SOUTH KOREA,
K-Water - 500kW

Pommeraiie - sur - Sevre,
FRANCE,
Osesol - 100kW

Bishan Park, SINGAPORE,
Phoenix Solar - 5kW

Sudbury, CANADA,
MIRARCO - 0.5kW

Okegawa, JAPAN,
Ciel et Terre - 1,157kW



Annexe 3 : Les Caractéristiques

Caractéristiques de la carte Arduino UNO R3 :

- Microcontrôleur : ATmega328 (ATMEL de la famille AVR 8bits).
- Tension de fonctionnement : 5V
- Tension d'alimentation (recommandée) : 7-12V Tension d'alimentation (limites) : 6-20V
- Broches E/S numériques : 14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
- Broches d'entrées analogiques : 6 (utilisables en broches E/S numériques)
- Intensité maxi disponible par broche E/S (5V) : 40 mA (200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
- Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V 50 Ma
- Intensité maxi disponible pour la sortie 5V
- Fonction de l'alimentation utilisée –500 mA max si port USB utilisé seul
- Mémoire Programme Flash : 32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader
- Mémoire SRAM (mémoire volatile) : 2 KB (ATmega328) Mémoire EEPROM (mémoire non volatile) : 1 KB (ATmega328) Vitesse d'horloge : 16 MHz

Caractéristiques et spécifications du module L298 :

- Modèle de pilote : L298N 2A
- Puce de pilote : Double pont en H L298N
- Tension d'alimentation du moteur (maximum) : 46 V
- Courant d'alimentation du moteur (maximum): 2A
- Tension logique : 5 V
- Tension du pilote : 5-35 V
- Courant du pilote : 2A
- Courant logique : 0-36 mA
- Puissance maximale (W): 25W
- Détection de courant pour chaque moteur

Annexe

- Dissipateur thermique pour de meilleures performances
- Indicateur LED de mise sous tension

Caractéristiques et spécifications du Panneau solaire 5W - 9V :

- Modèle : P-5W (Welion)
- Puissance crête (Pmax) : 5W
- Tension en circuit ouvert (Voc) : 11.1 V
- Courant de court-circuit (Lsc) : 0.62 A
- Tension d'alimentation max. (Vmp) : 9.0 V
- Courant de puissance max. (Imp) : 0.56 A
- Tension maximale du système : 1000V
- Tolérance de puissance : $\pm 3\%$
- Dimension (mm) : 250*200*17

Caractéristiques du MINI Pompe à eau submersible 12V DC Arduino :

- Dimensions : 54(L)x 37(W)x 42(H) mm
- Tension de fonctionnement : 12V DC
- Courant de fonctionnement : 375 mA
- Puissance : 4.2W
- Débit : 240 L/H
- Matériaux : Plastique
- Diamètre sortie : 8 mm
- Diamètre entrée : 8 mm
- Durée de vie : 30 000 Heures
- Nuisance sonore : ≤ 40 DB
- Classe étanchéité : IP68
- Résistance à la chaleur : 0-100°
- Couleur : Noir

Caractéristiques du Convertisseur élévateur de tension SZ-BT07CCCV 1200W 20A DC CONVERTISSEUR BOOST STEP UP MODULE D'ALIMENTATION ENTRÉE 10-60V SORTIE 12-83V :

- Propriétés du module : module boost non isolé

Annexe

- Tension d'entrée : 10 - 60V
- Courant d'entrée : 20 A
- Courant de fonctionnement au repos : 15 mA
- Tension de sortie : 12 - 83V réglable en continu
- Courant de sortie: MAX 12A sur 20A, veuillez renforcer le refroidissement (avec une pression différentielle d'entrée et de sortie, plus la différence de pression entre le courant de sortie est petite)
- Plage de courant constant : 0,3 - 20 A
- Puissance de sortie : = tension d'entrée x 10A
- Température de fonctionnement : -40 ~ + 85 degrés
- Fréquence de travail : 150KHz
- Efficacité de conversion : $\leq 95\%$ (efficacité et entrée, tension de sortie, courant, différence de pression)
- Mode de connexion: sortie de soudage (veuillez utiliser un gros courant et un fil de cuivre pur)
- Dimensions (mm) : 130 x 52 x 46

Annexe 4 :

Programme (Tension, Courant) du panneau solaire 12 V :

```
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h> //library for LCD

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);

//Measuring Current Using ACS712
int sensitivity = 185; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int adcvalue= 0;
int offsetvoltage = 2507; //Sensor Callibration
double Voltage = 0; //voltage measuring
double ecurrent = 0;// Current measuring

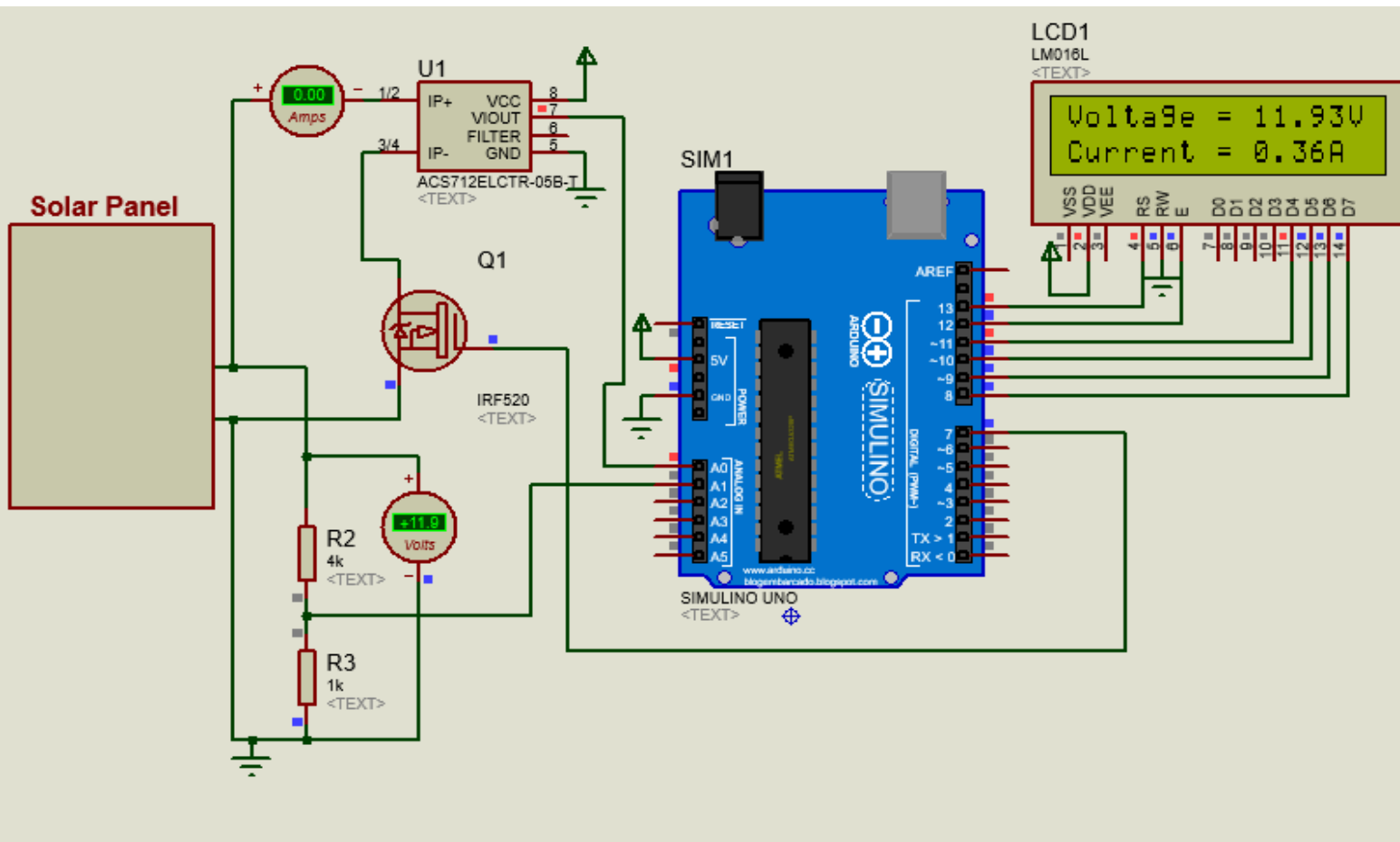
void setup()
{
  pinMode(7,OUTPUT); //MOSFET Pin
  digitalWrite(7,LOW); //Initially Turn Off the MOSFET

  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2); //LCD order
}
```

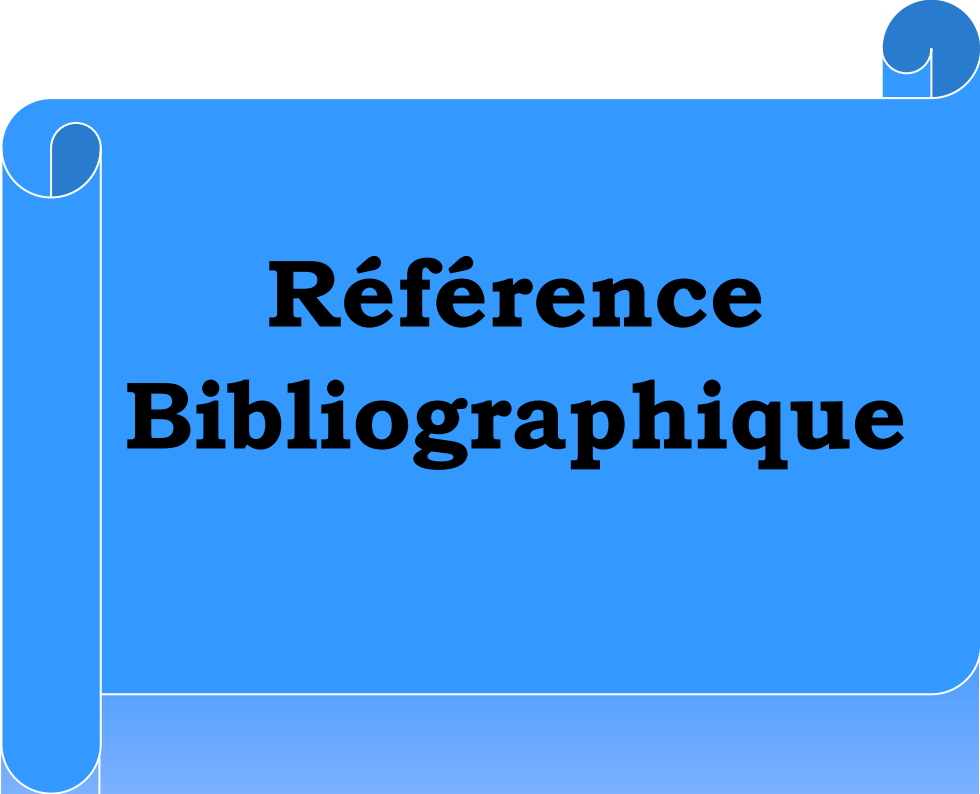
```
void loop()
{
  // Measure The Votage *****
  // read the input on analog pin A1:
  int sensorValue = analogRead(A1);
  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
  float vol = (sensorValue * 5.0) / 1023.0;

  float voltage = vol * 5;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Voltage = ");
  lcd.print(voltage);
  lcd.print("V");

  // Measure The Current *****
  digitalWrite(7,HIGH); //Turn ON the MOSFET
  delay(100);
  adcvalue = analogRead(A0); //reading the value from the analog pin A0
  delay(100);
  digitalWrite(7,LOW);
  Voltage = (adcvalue / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
  ecurrent = ((Voltage - offsetvoltage) / sensitivity);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Current = ");
  lcd.print(ecurrent);
  lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
  delay(2000);
}
```



le branchement du panneau dans Proteus

A decorative graphic consisting of a blue scroll-like shape with rounded corners and a white outline. It is positioned on the left side of the page, partially overlapping a vertical blue bar on the right. The text is centered within the upper portion of the scroll.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique :

[1] Desertenergy.org Archivé le 5 décembre 2014 sur la Wayback Machine.

[2] THI, NDA L'évolution mondiale du solaire photovoltaïque flottant 2017 - Document de travail. 2017. Disponible sur : < <https://www.researchgate.net/publication/321461989> >. Consulté le : 02/03/2019.

[3] TRAPANI, K.; SANTAFÉ, RM Bilan des installations photovoltaïques flottantes : 2007-2013. Progrès en photovoltaïque : Recherche et applications, v. 23, n. 4, p. 524-532, 2014. ISSN 10627995.

[4] Préparé par l'auteur avec des informations de Trapani et Santafé (2014)/ TRAPANI, K.; SANTAFÉ, RM Bilan des installations photovoltaïques flottantes : 2007-2013. Progrès en photovoltaïque : Recherche et applications, v. 23, n. 4, p. 524-532, 2014. ISSN 10627995.

[5] Préparé par l'auteur avec des informations de Sauh et Yadav (2016)/ SAUH, A.; YADAV, N. Centrale photovoltaïque flottante : un bilan. Revues des énergies renouvelables et durables, v. Volume 66 p. Pages 815-824, 2016.

[6] Adapté par l'auteur avec des informations de Thi (2017)/ THI, NDA L'évolution mondiale du solaire photovoltaïque flottant 2017 - Document de travail.2017.Disponiblesur:< <https://www.researchgate.net/publication/321461989> >. Consulté le : 02/03/2019.

[7] <https://www.akuoenergy.com/solaire/le-solaire-flottant>

[8] BJØRNEKLETT, B. ; INGULSTAD, AE ; BØRSETH, TM OceanSun <https://oceansun.no>, p. Fornebu juste à l'extérieur d'Oslo, Norvège, 2019. Accès le : 27/05/2019.

[9] Montage de l'auteur avec des informations du site Web info@oceansun.no Bjørneklett et al. (2019)

[10] Photos d'Ocean Sun de info@oceansun.no

Référence Bibliographique

- [11] Trapani, K., Millar, DL, Smith, HC, "Nouvelle application offshore du photovoltaïque par rapport aux technologies conventionnelles d'énergie renouvelable marine," *Renewable Energy*, Vol. 50, pages 879-888, 2013.
- [12] Dubey, S., Sarvaiya, JN, Seshadri, B., "Efficacité photovoltaïque dépendante de la température (PV) et son effet sur la production PV dans le monde - une revue", *Energy Procedia*, Vol. 33, pages 311-321, 2013.
- [13] Azmi, MSM, Othman, MYH, Ruslan, MHH, Sopian, K., Majid, ZAA, "Étude sur la production d'énergie électrique du photovoltaïque flottant et du photovoltaïque conventionnel", dans *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics, Vol 1571, n° 1, p. 95-101, 2013
- [14] Gotmare, JA, Prayagi, SV, "Améliorer les performances des panneaux photovoltaïques par refroidissement stationnaire", *Int J Sci Eng Technol*, Vol. 2, n° 7, pages 1465-1468, 2014.
- [15] Dash, PK, Gupta, NC, "Effet de la température sur la puissance de sortie de différents modules photovoltaïques disponibles dans le commerce", *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 5, n° 1, pages 148-151, 2015.
- [16] Baskar, D., "Amélioration de l'efficacité du système de pompage d'eau photovoltaïque par pulvérisation automatique d'eau sur des cellules photovoltaïques", *Middle-East Journal of Scientific Research*, Vol. 19, n° 8, pages 1127-1131, 2014.
- [17] Choi, YK, "Une étude sur l'analyse de la production d'énergie d'un système PV flottant tenant compte de l'impact environnemental", *Journal international de génie logiciel et ses applications*, Vol. 8, n° 1, p. 75-84, 2014
- [18] FARFAN, J.; BREYER, C. Combiner Float Solar et Hydropower : une batterie virtuelle à fort potentiel mondial. *Énergie Procedia*, v. 155, p. 403-411, 2018.
- [19] A-N-A. Relatorio-conjuntura-2017 Recursos en eau du Brésil. v. Rapport complet, p. 169, 2017. Disponible sur : < www.ana.gov.br >.

Référence Bibliographique

[20] TINA, GM et al. Potentiel Photovoltaïque Flottant Géographique et Technique. Sciences thermiques, v. 22, p. 17-17, 2018.

[21] LEMOS, LO, Ferreira, Â. M., Jota, PRS, Silva, AGV Effets de la saleté sur les performances des modules photovoltaïques, Belo Horizonte – Minas Gerais, VI CBENS - VI Congrès brésilien de l'énergie solaire, Minas Gerais. , 91 JAKHRANI, AQ et al. Comparaison des modèles de température des modules solaires photovoltaïques. 2016.

[23] Total Energies et le monde agricole poursuivent leur collaboration avec de nouvelles innovations hydro-voltaïques. (2021, décembre). Plein Soleil, n°74.

[24] CAZZANIGAA, R. et al. Installations photovoltaïques flottantes Analyse des performances et solutions de conception. Examens des énergies renouvelables et durables n. 81, p. 1730-1741, 2018.

[25] <https://www.iberdrola.com/innovation/floating-photovoltaic>

[26] LIU, H. et al. Expérience de terrain et analyse des performances du PV flottant. Article en cours dans la recherche et les applications photovoltaïques v. 26, n. 12, p. 957-967, 2018.

[27] INFIRMIÈRE Site qui propose un annuaire d'entreprises et de produits solaires. www.ensolar.com Les informations fournies sur ce site sont gratuites et à titre informatif uniquement et ne créent pas de relation commerciale ou de services professionnels avec ENF., 2019. Consulté le : 06/04/2019.

[28] Elevé par l'auteur – information tirée du site : https://www.ensolar.com/repertoire/composant/systeme_de_montage?mount_type=f

[29] Elevé par l'auteur – information tirée du site : https://www.ensolar.com/repertoire/composant/systeme_de_montage?mount_type=f

Référence Bibliographique

- [30] Élevé par l'auteur - information tirée du site : https://www.enfsolar.com/directory/composant/systeme_de_montage?mount_type=f
- [31] SEAFLEX. Système d'amarrage. 2019. Disponible sur : < <http://www.seaflex.net> >. Consulté le : 06/04/2019.
- [32] <https://www.dynamicslr.com/floating-solar-panels/>
- [33] IRENA. Énergies renouvelables 2017. RAPPORT DE SITUATION MONDIALE, 2017. ISSN 978-3-9818107-6-9.
- [34] MING, B. et al. Réexploitation du réservoir hydroélectrique pour s'adapter à la production d'électricité photovoltaïque à grande échelle. *Énergie*, v. 179, p. 268-279, 2019. ISSN 03605442.
- [35] IHA. Rapport sur l'état de l'hydroélectricité. L'International Hydropower Association (IHA) est une organisation à but non lucratif qui travaille avec un réseau dynamique de membres et de partenaires actifs dans plus de 100 pays. , p.78. 2017
- [36] Tableau préparé par l'auteur avec les données du rapport sur l'état de l'hydroélectricité - 2017
- [37] <https://www.ciel-et-terre.net/our-references/>
- [38] Ahmed O. Bagré. « Cours sur le pompage photovoltaïque et le dimensionnement de système PV»
- [39] A. Daoud « Contrôle de la puissance d'un générateur photovoltaïque pour le pompage solaire ». Thèse Doctorat université d'Oran 2013
- [40] ZEGHIB ILHEM « Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire parabolique » *****
- [41] C. Cabal, "Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la Conversion photovoltaïque", Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse 15 Décembre 2008. High Efficient Interleaved Boost Converter with Novel

Référence Bibliographique

- [42] Switch Saleh Adaptive H.Elkelani Control Babaain “Photovoltaic Application”, Mars 2013
- [43] GUEDAOURIA H., “ Dimensionnement d’un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l’université de Béchar ”, Mémoire de Master, Université Tahri Mohammed Bechar, 2017.
- [44] Ricaud A., “ Systèmes photovoltaïques ”, Mémoire de Master, Ecole d’ingénieurs ‘Polytech’ Savoie’, octobre 2011.
- [45] [Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy « le pompage photovoltaïque, manuel de cours à l’intention des ingénieurs et techniciens » Institut de l’énergie des pays ayant en commun l’usage français, 1998]
- [46] Moshiur Rahman Sourov, Ummee Tania Ahmed, Mirza Golam Rabbani “A High Performance Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power System Using DC-DC Boost Converter”, IOSR Journal of Engineering Vol. 2, Issue 12 (Dec. 2012), PP 12-20
- [47] Ali Chermitti, Omar Boukli-Hacene, Samir Mouhadjer, —Design of a Library of Components for Autonomous Photovoltaic System under Matlab/Simulink”, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 53– No.14, September 2012
- [48] Cédric CABAL — Optimisation énergétique de l’étage d’adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque, Doctoral thesis, University of Toulouse, LAAS, December 2008
- [49] Z. Bendjellouli ‘ Contribution a la modélisation d’une cellule solaire’, Mémoire de magister université de bachar, 2009.
- [50] O. BELABBASSI, M. REZMA ‘Contribution a l’étude et dimensionnement d’un système hybride photovoltaïque / réseau sone gaz’ mémoire d’ingénieur d’état université de Laghouat, 2011.
- [51] MLE BENHADDOUCHE NESRINE FATIMA ‘La commande d’un système photovoltaïque d’un satellite’ Thèse de master université tlemcen 2013/2014.

Référence Bibliographique

[52] G. Spiazzi, P. Mattavelli, L. Rossetto, "Sliding Mode Control of DC-DC Converters", University of Padova, Italy, 2000

[53] . G. Spiazzi and P. Mattavelli, L. Rosseto, L. Malesani, "Application of Sliding Mode Control to Switch-Mode Power Supplies", University of Padova, Italy, 2000

[54] G. Spiazzi, P. Mattavelli, "Sliding-Mode Control of Switched-Mode Power Supplies", University of Padova, Italy, 2002

[55] B. Cottenceau « Carte ARDUINO UNO Microcontrôleur ATmega328», B311 ISTIA

[56] <http://www.handsontec.com>

[57] C. Cabal, "Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la Conversion photovoltaïque", Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse15 Décembre 2008. High Efficient Interleaved Boost Converter with Novel

[58] https://fr.wikipedia.org/wiki/Platine_d%27exp%C3%A9rimentation