



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



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

Présenté par

Mahnine Ramzi

&

Benabbes Islam

THEME

**Contrôle d'un système de pompage
photovoltaïque pour un système
aquaponique**

Soutenu le :

devant la commission d'examen composée de :

Pr. Chaiba Azzedine

Grade

à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela

Président

Dr. Boutabba Tarek

Grade

à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela

Encadrant

Dr. Saidi Abdelkader

Grade

à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela

Examineur

Promotion 2021/2022

Remerciement

Avant tout nous remercions "ALLAH" le
Tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné
le Courage, la force et la foi de mener à terme ce
Modeste travail.

À notre encadreur Mr BOUTABBA TAREK et nous
tenons d'abord à le remercier très

Chaleureusement d'avoir accepté de suivre notre
Projet et pour son attention particulière qu'il nous

a

Donnée au courant de l'année. Veuillez trouver ici
l'expression de notre

Respectueuse considération et notre profonde
Admiration pour toutes vos qualités scientifiques

et

Humaines. Ce travail est pour nous l'occasion de
Vous témoigner notre profonde gratitude

Dédicaces

Je dédie le fruit de mes études aux personnes les plus

Chers, à la lumière de ma vie à ceux qui m'ont soutenu et

M'ont protégé durant toute mon existence à mes parents

Et mes frères et mes sœurs

A tous mes collègues et mes amies

A toute la promotion de MATSER option ELT 2022

A toutes les personnes qui m'ont aidé d'une façon ou d'une

autre.

A toute ma famille

- Ramzi -

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents, que
Dieu les garde et les protégés.

A mon frère et ma Sœur.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des Tableaux

Notation et Symboles

Introduction générale

Chapitre 0 1 : Système aquaponique

I.1	Introduction.....	3
I.2	Système aquaponie.....	3
I.3	Système de production.....	4
I.4	Processus biologique et filtration.....	5
I.5	Les types d'un système aquaponie.....	6
I.5.1	Technique Radeaux (DWC).....	6
I.5.2	Technique de film nutritif (NFT).....	7
I.5.3	Technique Lits remplis de médias.....	8
I.6	Relation entre les poissons et les plantes.....	9
I.7	Aquaponie et développement durable.....	10
I.8	Les Avantages et Les Inconvénients.....	10
I.8.1	Les Avantages.....	10
I.8.2	Les Inconvénients.....	10
I.9	Hydroponique.....	11
I.10	Les différentes pompes utilisées dans les systèmes de Pompages.....	12
I.10.1	Les pompe à refoulement.....	12
I.10.2	Pompes volumétriques.....	13
I.10.3	Pompes centrifuges.....	14
I.10.4	Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges.....	14

I.11 Conclusion.....15

Chapitre 0 2 : Système solaire photovoltaïque

II.1 Introduction.....16

II.2 Principe de fonctionnement.....16

II.3 Théorie des semi-conducteurs.....17

 II.3.1 Semi-conducteur de type N.....18

 II.3.2 Semi-conducteur de type P.....18

 II.3.3 Jonction PN.....19

II.4 Types des cellules photovoltaïques.....20

 II.4.1 Les cellules Poly cristallin (p-Si).....20

 II.4.2 Les cellules Monocristallin (m-Si).....21

 II.4.3 Les cellules amorphes.....22

II.5 Modèle électrique.....22

II.6 Courbes caractéristiques (I-V P-V).....25

 II.6.1 Courbe caractéristique I-V.....25

 II.6.2 Courbe caractéristique P-V.....26

II.7 Influences météorologiques sur les caractéristiques

 Electriques.....27

 II.7.1 Influence de l'éclairement.....27

 II.7.2 Influence de la température.....28

II.8 Les différents systèmes photovoltaïques.....29

 II.8.1 Systèmes photovoltaïques autonomes.....30

 a) Système autonome sans batterie.....30

 b) Système autonome avec batterie.....30

 II.8.2 Système hybride.....30

 II.8.3 Systèmes photovoltaïques connectés réseau.....31

II.9 Le stockage d'énergie.....31

 II.9.1 Les batteries.....31

 a) Les batteries plomb-acide ouvertes.....31

 b) Les batteries plomb-acide étanches.....31

c) Les batteries à gel.....	31
II.9.1.1 Charge-décharge de la batterie.....	31
II.9.1.2 Le cyclage.....	32
II.9.1.3 État de charge et profondeur de décharge.....	32
II.9.1.4 La capacité de stockage des batteries solaires.....	32
II.10 Conclusion.....	33

Chapitre 0 3 : Conversion statique, modélisation et simulation du système de pompage photovoltaïque

III.1 Introduction.....	34
III.2 Les convertisseurs d'électrique de puissance.....	34
III.2.1 Le convertisseur DC-DC.....	34
a) Le convertisseur Buck.....	35
b) Le convertisseur Boost.....	35
III.2.2 Le Convertisseur DC-AC (Onduleur Monophasé).....	36
III.3 Technique de maximisation de puissance.....	37
III.3.1 Méthode « Perturb & Observe » (P&O).....	38
III.3.2 La méthode “Incrément de conductance” (IncCond).....	39
III.4 Modélisation de la machine asynchrone monophasée.....	41
III.4.1 Commande scalaire d'une machine à induction monophasé (V/f).....	44
III.5 Modélisation de la pompe.....	45
III.6 Simulation et interprétation.....	45
III.6.1 Le Système de pompage Photovoltaïque proposé.....	46
III.6.1.1 Partie 1 et 2 : Générateur photovoltaïque hacheur Elévateur « Boost » contrôlé par l'algorithme (P&O).....	47
a) Résultats et interprétation de la simulation.....	48
III.6.1.2 Partie 3 : contrôle d'un moteur asynchrone monophasé « Pompe immergé ».....	52
a) Résultats et interprétation de la simulation.....	54
III.6.1.3 Partie 4 : la charge « Système d'aéroponique	

Photovoltaïque ».....	56
a) Résultats et interprétation de la simulation.....	57
III.7 Conclusion.....	60

Chapitre 0 4 : Conception et réalisation notre projet de système de pompage photovoltaïque pour un système aquaponique

IV.1 Introduction.....	61
IV.2 Premier partie : Méthodes et matérielle de contrôle notre projet.....	62
IV.2.1 La commande Pulse Width Modulation (PWM).....	62
IV.2.2 Technique PWM scalaire.....	63
IV.2.2.1 Stratégies de Commande V / f en boucle ouverte.....	63
IV.2.3 Description du système de la commande v/f.....	64
IV.2.3.1 La partie de commande.....	64
a) Alimentations DC.....	64
b) Carte de contrôle dSPACE DS1104 R&D.....	64
IV.2.3.2 La partie de puissance.....	65
a) Onduleur de tension a deux niveaux.....	65
IV.2.3.3 La partie de mesure.....	66
a) Capteur de courant et de tension.....	66
b) Capteur d'adaptations.....	67
c) Capteur de débit d'eau : y-fs201.....	67
IV.2.3 Simulation de la commande PWM scalaire sur Matlab/SIMULINK en Temps réel Desk.....	68
IV.2.3.1 Système d'acquisition « Control Desk ».....	70
IV.2.3.2 Résultats et interprétation expérimentaux de la simulation...71	
IV.3 Deuxième partie : réalisations et fabrications de notre système Aquaponique.....	74

IV.3.1 Le choix du réservoir à poissons (aquarium).....	76
IV.3.2 Le choix du bac de culture a plants avec la fabrication du siphon.....	77
IV.3.4 Fabriquer ses radeaux.....	78
IV.3.5 Le choix de la pompe d'eau.....	79
IV.3.6 La circulation d'eau.....	80
IV.3.7 Un système de filtration.....	80
IV.3.8 Le choix de l'eau.....	80
IV.3.9 Choix des plantes.....	80
IV.3.10 Choix du type des poissons.....	81
IV.3.11 La nourriture des poissons.....	82
IV.3.12 La lumière.....	82
IV.3.13 Validation le projet.....	82
IV.4 Conclusion	83
Conclusion générale.....	85
Abstract	
Références	
bibliographiques.....	87
Annexe	

Liste des figures

Chapitre I : Système aquaponique

Figure I.1: Système aquaponie de base.....	4
Figure I.2 : Processus de transformation : Ammonium → Nitrite → Nitrate...	5
Figure I.3 : Niveaux d'ammoniac, de nitrites et de nitrates au cours des Premières semaines dans un système aquaponie à recirculation.....	6
Figure I.4 : technique radeau.....	7
Figure I.5: Technique de culture sur film nutritif.....	8
Figure I.6 : Méthode de lits remplis de médias	9
Figure I.7 : Pompe immergée.....	13
Figure I.8 : pompe volumétrique.....	13
Figure 1.9 : pompe centrifuge.....	14

Chapitre II : système solaire photovoltaïque

Figure II.1 : principe de fonctionnement de la cellule PV.....	17
Figure II.2 : Semi-conducteur de type N.....	18
Figure II.3 : Semi-conducteur de type P.....	19
Figure II.4 : Jonction PN.....	19
Figure II.5 : cellule poly cristalline.....	20
Figure II.6 : cellule monocristalline.....	21
Figure II.7: cellule amorphe.....	22
Figure II.8 : Circuit équivalent idéal d'une cellule photovoltaïque.....	23
Figure II.9 : Circuit équivalent réel d'une cellule photovoltaïque.....	24
Figure II.10 : courbe caractéristique I_{pv}	26
Figure II.11 : courbe caractéristique P_{pv}	27
Figure II.12 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I-V.....	28
Figure II.13 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique P-V.....	28
Figure II.14 : Effet de la température sur la caractéristique I-V.....	29
Figure II.15 : Effet de la température sur la caractéristique P-V.....	29
Figure II.16 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques.....	30

Figure II.17: Batterie qui a une profondeur de décharge de 30% à un état de charge De 70%.....32

Chapitre III : Conversion statique, modélisation et simulation du système de pompage photovoltaïque

Figure III.1 : Circuit idéal d'un convertisseur Buck.....	35
Figure III.2 : Circuit idéal d'un convertisseur Boost.....	36
Figure III.3 : Circuit équivalent d'un onduleur monophasé.....	36
Figure III.4 : Schématisation d'une chaîne élémentaire de conversion Photovoltaïque.....	37
Figure III.5 : Illustration du principe de la commande MPPT type « P&O »..	38
Figure III.6 : Algorithme type de la méthode P&O.....	39
Figure III.7: Positionnement du point de fonctionnement.....	40
Figure III.8: Algorithme d'une commande MPPT basée sur la méthode Incrément de conductance.....	41
Figure III.9 : Représentation schématique d'une machine asynchrone Biphasee.....	42
Figure III.10 : Schéma classique de commande scalaire.....	44
Figure III.11 : Schéma synoptique de système de control d'un système Photovoltaïque d'aéroponique.....	47
Figure III.12 : schéma bloc de système de control d'un système Photovoltaïque d'aéroponique.....	47
Figure III.13 : Schéma bloc d'un Générateur photovoltaïque connecté à un Hacheur élévateur « Boost » contrôlé par l'algorithme (P&O)...	48
Figure III.14 : Schéma bloc d'un Générateur photovoltaïque connecté à un hacheur élévateur « Boost » contrôlé par l'algorithme (P&O).....	48
Figure III.15 : Caractéristique (I-V), (P-V).....	49
Figure III.16 : Représente l'effet de l'éclairement des caractéristiques (I-V) (P-V).....	50
FigureIII.17 : Tension (V_{pv}) et courant (I_{pv}) du générateur	

Photovoltaïque.....	50
Figure III.18 : Caractéristique P-V et I-V du générateur photovoltaïque.....	51
Figure III.19 : Puissance du générateur photovoltaïque (Ppv).....	51
Figure III.20 : Tension de sortie du convertisseur DC-DC (Vdc).....	52
Figure III.21 : Schéma bloc de système de contrôle du moteur monophasé (Pompe immergé).....	53
Figure III.22 : Schéma bloc de l'onduleur monophasé avec la technique V/f.....	53
Figure III.23 : schéma bloc de la MAS monophasé.....	54
Figure III.24 : représente la vitesse de moteur.....	55
Figure III.25 : représente le courant de moteur	55
Figure III.26 : représente le couple de moteur.....	56
Figure III.27 : Schéma synoptique de système de control d'un système D'aéroponique photovoltaïque.....	56
Figure III.28 : Schéma bloc de la pompe centrifuge avec deux réservoirs hauts (plateau de culture) et bas (aquarium de poisson) connecté avec la MAS monophasé.....	57
Figure III.29 : représente la vitesse de pompe.....	58
Figure III.30 : représente le courant de pompe.....	58
Figure III.31 : représente le couple de pompe.....	59
Figure III.32 : représente Les réservoirs haute et bas.....	59
Figure III.33 : représente la pression de la pompe centrifuge.....	60

Chapitre IV : Conception et réalisation notre projet de système de pompage photovoltaïque pour un système aquaponique

Figure IV.1 : le banc d'essai expérimental de notre projet.....	62
Figure IV.2 : alimentations DC.....	64
Figure IV.3 : dSPACE DS1104 R&D.....	65
Figure IV.4 : onduleur de tension à deux niveaux (SOMIKRON).....	66
Figure IV.5 : Capteur de courant et de tension.....	66
Figure IV.6 : Capteur d'adaptations.....	67

Figure IV.7 : capteur de débit d'eau.....	68
Figure IV.8 : Schéma bloc de l'onduleur avec la technique scalaire et Capteur de courant et de tension.....	69
Figure IV.9 : schéma bloc Simulink des capteurs.....	70
Figure IV.10 : le résultat obtenu sur Interface de logiciel Control Desk.....	71
Figure IV.11 : la fréquence.....	72
Figure IV.12 : Signaux PWM1, PWM2, PWM3 et PWM4.....	72
Figure IV.13: forme d'onde la tension de l'onduleur.....	73
Figure IV.14 : représente la tension de sortie de l'onduleur.....	73
Figure IV.15 : représente le courant de sortie de l'onduleur.....	74
Figure IV.16 : Schéma synoptique de notre système aquaponique.....	75
Figure IV.17 : notre système aquaponique.....	75
Figure IV.18 : réservoir à poissons (aquarium.....	76
Figure IV.19 : bac de culture a plants avec las canaux DWC.....	77
Figure IV.20 : Les radeaux.....	78
Figure IV.21 : pompe Submersible.....	79
Figure IV.22 : pompe à air.....	80
Figure IV.23 : plante de salade.....	81
Figure IV.24 : Les Poissons de notre projet.....	82
Figure IV.25 : système de pompage photovoltaïque pur un système Aquaponique.....	83

Liste des tableaux

Tableaux I.1 : Caractéristiques des pompes volumétriques et Centrifuges.....	14
--	----

Notation et symboles

R_s : Résistance série (Ω)

R_{sh} : Résistance shunt (Ω)

I : courant de module (A)

I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale, appelé aussi courant optimum (A)

I_{cc} : Courant de court-circuit (A)

K : Constante de Boltzmann ($k=1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T_j : Température de jonction ($^{\circ}\text{C}$)

V_{co} : Tension en circuit ouvert (V)

V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale (V)

V_{cell} : Tension d'une cellule (V)

P_c : Puissance crête (W)

P_{max} : Puissance au point maximum (W)

I_s : Courant de saturation de la diode (A)

I_{rsh} : Courant de la résistance shunt (A)

I_{sc} : Coefficient d'idéalité

T_c : Température de la jonction ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : Température ambiante ($^{\circ}\text{C}$)

N_s : Nombre de module en série

N_p : Nombre de module en parallèle

R_s : Résistance de l'induit (Ω)

T_{em} : Couple électromagnétique (N.m)

ρ : Masse volumique de l'eau ($\rho = 1000 \text{Kg/m}^3$)

E_h : Energie hydraulique (Wh)

Q : Débit de l'eau pompé (m^3/s) ou (m^3/j)

I_{sd}, I_{sq} : Courant statorique directe et quadratique

I_{rd}, I_{rq} : Courant rotorique directe et quadratique

L_s, L_r : Inductances cyclique statorique et rotorique

L_s, L_r : Inductances de fuite statorique et rotorique

M_s, M_r : inductances mutuelles entre 2 phases statoriques, rotoriques

P_n : Puissance nominale du moteur asynchrone (W)

R_s, R_r : Respectivement les matrices des résistances statorique et rotorique.

V_{sd}, V_{sq} : Tension statorique directe et quadratique

Ω : Vitesse mécanique

Φ_{sd}, Φ_{sq} : Flux statorique direct et quadratique

Φ_{rd}, Φ_{rq} : Flux rotorique direct et quadratique

Abréviations

DC/DC : Convertisseur continu –continu

DC/AC : Convertisseur continu-alternatif

PPM: Point de puissance maximum

PV: Panneau photovoltaïque

MAS: Moteur asynchrone

PWM: Pulse Width Modulation

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Avec l'augmentation de la population mondiale, l'urbanisation rapide, la rareté des ressources naturelles, le monde a besoin de moyens durables de production alimentaire. La forte demande alimentaire dans le monde est déjà une réalité très proche, selon les Nations Unies en 2030 il y aura environ 8,5 milliards de personnes dans le monde, provoquant une augmentation significative de la consommation d'eau et une forte pression sur la nourriture méthodologies de production. Il est peu probable que les formes actuelles de production agricole accompagnent la croissance démographique au point de fournir de la nourriture, des aliments pour animaux et des sources alternatives de carburant.

Au milieu de ce scénario de changements et d'innovation dans la manière de produire des aliments, l'aquaponie peut être considérée comme une technique innovante, car elle consiste en la production d'aliments à faible consommation d'eau et à forte utilisation des résidus organiques générés, étant l'alternative de la production de poisson et de légumes avec moins d'impact sur l'environnement.

Le système de production aquaponie est une technique utilisée avec succès dans de nombreux pays, dont les États-Unis, l'Australie et aussi dans les pays européens. Cependant, en Algérie, l'utilisation commerciale de cette technique est encore discrète. Malgré la faible consommation d'eau, la réduction des impacts environnementaux, la production de deux sources de revenus dans un seul système, des études complémentaires qui apportent des informations pour permettre la mise en place de ce système dans les conditions algériennes sont indispensables.

Dans le scénario commercial, l'aquaponie nécessite de nombreuses connaissances multidisciplinaires, impliquant la chimie, la physique, la biologie et l'ingénierie. Selon les régions, le coût de mise en œuvre est souvent inabordable pour certains producteurs en Algérie, ce qui conduit beaucoup à rechercher des méthodes

alternatives qui réduisent ces coûts initiaux. Le système aquaponie nécessite un coût de mise en œuvre élevé car les composants nécessaires comme la pompe et l'aquarium sont des équipements coûteux. Cela peut augmenter les revenus du projet lorsqu'il a un objectif commercial.

Outre les coûts de mise en œuvre, il existe également des coûts variables tels que l'alimentation et l'électricité, qui représentent l'essentiel des coûts de production, et ceux-ci peuvent être réduits par des sources alternatives. L'Algérie, en raison de son extension territoriale, de son incidence solaire et de sa grande zone côtière, est un pays prometteur dans la production d'énergie renouvelable, notamment éolienne et solaire. Ces technologies émergentes comme une alternative pour la génération complémentaire et l'expansion de la capacité de production et leurs applications devraient être stimulées dans les segments les plus différents, y compris la production alimentaire dans les systèmes aquaponie.

L'énergie solaire photovoltaïque présente de nombreux avantages par rapport aux autres sources d'énergie électrique. Comme il est renouvelable et inépuisable, ils ne présentent pas de dommages à la nature dans l'installation et la production, contrairement aux centrales hydroélectriques, qui pour l'installation ont besoin de déboiser la faune et la flore du site d'implantation, ou aux centrales thermoélectriques, qui libèrent des gaz ou d'autres agents polluants. Dans leur génération, en plus des emplois directs et indirects créés grâce à l'énergie solaire

Ainsi ce travail est divisé en 4 chapitres

- **Le premier chapitre** est dédié à l'état d'art sur les systèmes aquaponie, avec les différentes pompes utilisées dans le système de pompage
- **Le deuxième chapitre** sera consacré aux systèmes photovoltaïques.

- **Le troisième chapitre** aborde les différents types de convertisseur utilisé dans notre travail qui fournirons l'énergie a au système de pompage aquaponique, aussi le modèle mathématique du moteur asynchrone monophasé et la pompe centrifuge. Enfin nous présenterons une simulation d'un générateur PV qui alimentant le système de pompage photovoltaïque sous logiciel Matlab/Simulink
- **Le dernier chapitre** sera consacré à la partie réalisation de système aquaponique. Et en terminera par une conclusion générale

CHAPITRE 01 :

SYSTÈME AQUAPONIQUE

I.1 Introduction

L'aquaponie implique la culture de végétaux avec l'élevage de poissons dans un environnement partagé. Les deux activités sont inter reliées dans un système où l'eau qui est enrichie des déchets des poissons est dirigée vers les végétaux qui utilisent les minéraux.

La technique de l'aquaponie peut nous sembler nouvelle technique car elle n'est pas répandue dans tout le monde et dans notre pays. Notre bonne compréhension de cette nouvelle technique d'aquaponie nous permet de le fabriquer facilement et sans erreurs. Pour cette raison, nous avons essayé de présenter dans ce chapitre tout ce qui concerne le système d'aquaponie

Ce chapitre présente les principaux aspects techniques afin de comprendre le sujet de l'aquaponie, ainsi que de montrer l'importance du système pour atteindre les paramètres de durabilité et de génération de revenus dans les communautés locales.

I.2 Système aquaponie

L'aquaponie est la combinaison de l'hydroponie (culture de plantes sans sol) avec la création d'organismes aquatiques, où l'eau des effluents générés par ces organismes est utilisée par les plantes après leur transformation en nitrites et nitrates par un processus de symbiose par l'action de bactéries. [1]

Le terme aquaponie est dérivé de la combinaison des mots aquaculture (production d'organismes aquatiques) et hydroponie (production de plantes hors-sol), et fait référence à l'intégration entre la création d'organismes aquatiques et la culture de légumes hydroponiques. Il est classé comme un système d'intégration entre la culture d'organismes aquatiques et de plantes hydroponiques, qui utilise peu d'eau et utilise efficacement les nutriments du système dans un système de recirculation et de traitement de l'eau. [1]

L'aquaponie est une manière durable de produire de la nourriture avec l'optimisation des espaces et des ressources naturelles. Il s'agit toujours d'un système fermé composé de trois dispositifs, le système

de production piscicole en flux continu, la culture hydroponique et le système de bio filtre. Considère l'intégration entre les poissons et les plantes comme une classe de polyculture, caractérisée par l'augmentation de la diversité et de la stabilité du système. Outre cet avantage technique, le commerce du poisson et des légumes peut apporter une contribution significative à l'économie locale. [2]

I.3 Système de production

Un système aquaponie est composé de trois composants principaux : les fermes piscicoles, les filtres biologiques et le composant hydroponique. Il y a dans chaque structure du système une caractéristique particulière. Cependant, tous sont reliés à un système de recirculation, dans lequel l'eau des aquariums passe à travers le système de filtration biologique et les effluents générés par les aliments offerts aux poissons sont transformés en nutriments pour les plantes. Par conséquent, cette eau revient pour être réutilisée dans les bassins piscicoles en circuit fermé. Le système aquaponie est illustré à la Figure (I.1)

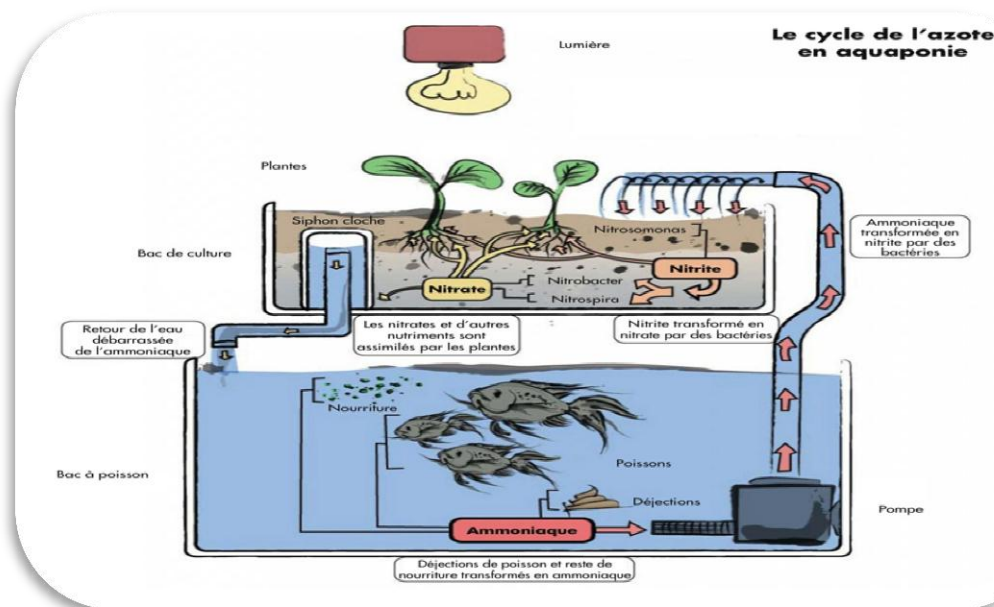


Figure I.1: Système aquaponie de base

Apparemment simple, l'aquaponie nécessite des connaissances spécifiques, car elle fonctionne comme un écosystème et nécessite une compréhension des éléments biologiques impliqués dans le processus de production. [3]

I.4 Processus biologique et filtration

La fourniture d'aliments industriels aux poissons est l'intrant le plus important du système aquaponie, mais sa décomposition au sein du système génère des composés azotés, qui doivent subir un processus de nitrification impliquant l'élément chimique azote (N). On sait que l'azote est le nutriment le plus demandé par les plantes et que le nitrate (NH_3) est la forme d'absorption préférée, la compréhension et la gestion des colonies bactériennes sont d'une extrême importance en aquaponie. [4]

Le processus de nitrification est réalisé au moyen de bactéries du genre *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, qui transforment l'ammoniac (NH_3) en nitrite (NO_2) et le nitrite en nitrate (NO_3), que les plantes sont capables d'assimiler comme nutriment.

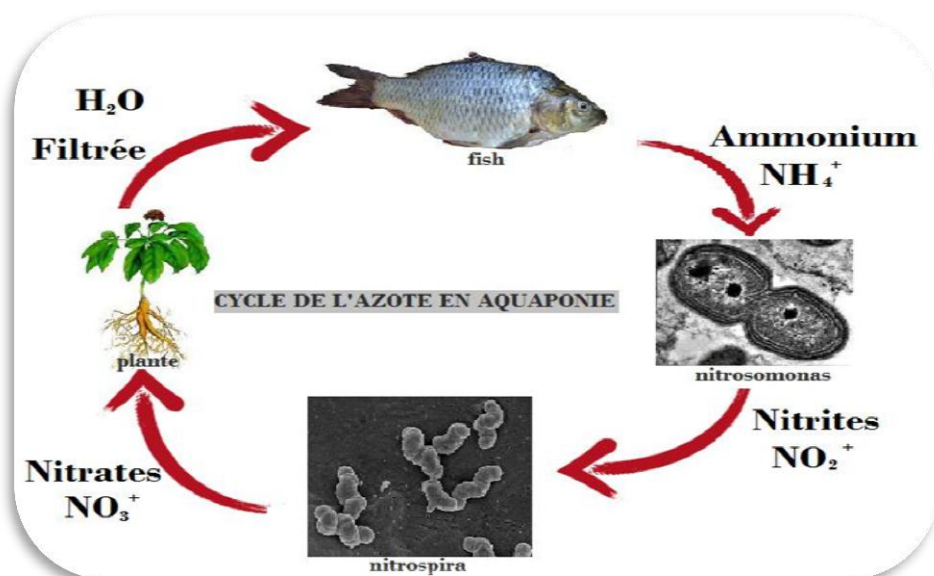


Figure I.2 : Processus de transformation : Ammonium → Nitrite → Nitrate

Il faut généralement 20 à 40 jours après l'introduction des poissons pour qu'un système aquaponie présente son cycle de nitrification en équilibre et pour que le début de l'introduction des végétaux soit possible [1]. Figure (I.3) illustre les niveaux de nitrification du système.

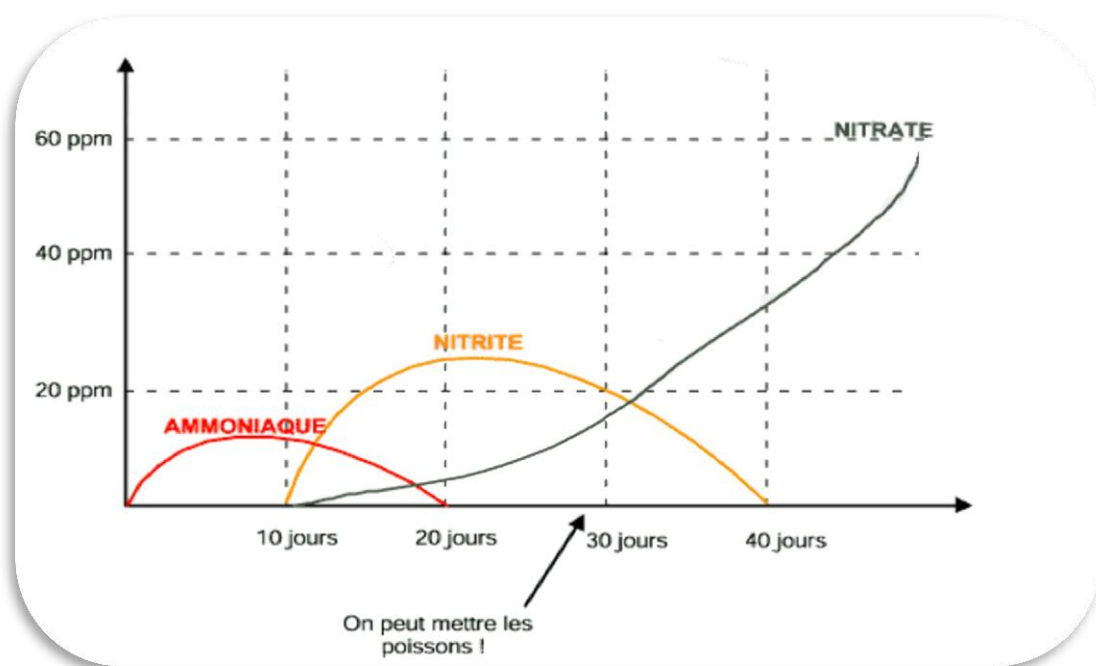


Figure I.3 : Niveaux d'ammoniac, de nitrites et de nitrates au cours des premières semaines dans un système aquaponie à recirculation. [5]

I.5 Les types d'un système aquaponie

Il existe trois principales méthodes aquaponie émergentes dans l'industrie : la technique de film nutritif, le radeau, et le système de lits remplis de médias. Chacune de ces méthodes est basée sur une conception de système hydroponique, avec des adaptations pour le poisson et la filtration. [1]

I.5.1 Radeaux (DWC)

Dans un système de radeau (également connu sous le nom flotteur, canal profond et écoulement profond) base sur l'idée de plantes flottantes au-dessus de l'eau permettant aux racines de pendre dans l'eau. Cela peut être fait de plusieurs façons. [6]

Les plantes sont cultivées sur des conseils de polystyrène (radeaux) qui flottent au-dessus de l'eau. Le plus souvent, ceci est dans un réservoir séparé de l'aquarium. L'eau s'écoule en continu de l'aquarium, à travers les composants de filtration, à travers le réservoir de radeau où les plantes sont cultivées et ensuite de retour à l'aquarium. Les bactéries bénéfiques vivent dans le réservoir du radeau et dans tout le système (Fig. I.4). [7]



Figure I.4 : technique radeau

I.5.2 Technique de film nutritif (NFT)

La technique du film nutritif est une méthode hydroponique couramment utilisée dans laquelle les plantes sont cultivées dans des canaux longs et étroits (Fig. I.4), mais elle n'est pas aussi courante dans les systèmes aquaponie [5]. Le principal avantage de la méthode NFT est que les racines des plantes sont exposées continuellement à des approvisionnements satisfaisants en eau potable, en oxygène et en vitamines et minéraux. « L'eau riche en nutriments est pompée dans

de petites gouttières fermées, l'eau qui coule dans la gouttière n'est qu'un film très mince. Les plantes s'assoient dans de petites coupelles en plastique permettant à leurs racines d'accéder à l'eau et d'absorber les nutriments. Le NFT ne conviennent vraiment qu'à certains types de plantes, généralement les légumes verts à feuilles, les plantes plus grandes ont des systèmes racinaires trop gros et trop invasifs ou deviennent trop lourds pour les gouttières légères » [5]

La technique NFT est particulièrement adaptée à la culture de la mâche, la laitue, du persil, du basilic, des fraises... Car elle permet d'économiser de la place grâce à la culture verticale. Mais attention, elle ne convient pas à la culture de certaines autres plantes comme par exemple les tomates car la rigole ne serait alors pas assez profonde pour permettre une bonne irrigation des racines. [8]



Figure I.5 : Technique de culture sur film nutritif

1.5.3 Technique Lits remplis de médias

Un système de lit rempli de médias est la forme la plus simple de l'aquaponie. Ce système utilise un réservoir ou un conteneur rempli de gravier, de perlite ou d'un autre support pour le lit de la plante. Ce lit est périodiquement inondé d'eau provenant de l'aquarium (figure

I.6). L'eau retourne ensuite à l'aquarium. Tous les déchets, y compris les solides, sont décomposés dans le lit de la plante. [5]



Figure I.6 : Méthode de lits remplis de médias

I.6 Relation entre les poissons et les plantes

Dans le système aquaponie, la quantité de poissons et de plantes que l'on souhaite produire à une relation proportionnelle, puisque le lieu destiné à la culture hydroponique doit répondre à la demande de nutriments qui seront générés dans les bassins d'élevage. La littérature présente plusieurs manières de calculer ou d'estimer cette relation, dans lequel la quantité de nourriture fournie quotidiennement aux poissons est liée à la taille de la zone pouvant être cultivée en légumes. Ainsi, 60 g à 100 g d'aliments apportés quotidiennement apportent des éléments nutritifs pour chaque m² de surface de production végétale. Dans ce cas, 60 g/jour sont à considérer pour la culture de 1 m² de feuillus.

Wilson (2005) indique que pour 1 kg de poisson produit, il existe une disponibilité de nutriments capables de fournir la production de 7 kg de biomasse végétale. Il s'ensuit donc que la partie hydroponique occupe une surface beaucoup plus importante que le vivier, ce qui, ajouté au fait que le cycle végétal (25 à 90 jours) est beaucoup plus court que celui des poissons (210 à 270 jours), ce qui rend évident la

grande importance de la partie végétale dans les systèmes aquaponie [9].

I.7 Aquaponie et développement durable

L'aquaponie apparaît comme une alternative accessible aux petits et grands producteurs pour produire des aliments visant à réduire l'impact environnemental par un mode de production respectueux de l'environnement. Un autre point important est le grand attrait de la société pour les aliments biologiques, sans pesticides, cultivés de manière plus durable et avec moins de déchets de tous types de matières, en particulier d'eau, ce qui a encore renforcé l'importance de la culture aquaponie [1].

Un autre facteur très important est le fait que l'aquaponie peut répondre aux objectifs de développement durable (ODD) qui ont été définis par les Nations Unies et composent un agenda mondial, adopté en septembre 2015, totalisant 17 objectifs et 169 objectifs à atteindre d'ici 2030. Ces objectifs impliquent des actions pour mettre fin à la pauvreté, promouvoir la prospérité et le bien-être de tous, protéger l'environnement et lutter contre le changement climatique [10].

I.8 Les Avantages et Les Inconvénients

I.8.1 Les Avantages

Notons parmi ses avantages :

- une faible consommation en eau
- la possibilité d'être installée n'importe où et en particulier près des villes, voire de permettre le recyclage des friches industrielles, entrepôts, terrains vagues...
- une implantation en bordure des villes permet un allègement significatif des frais de transport ;
- une culture saine et en particulier l'absence de nitrates dans les légumes. [11]

I.8.2 Les Inconvénients

Ils existent et ne sont pas à négliger. Citons :

- De nombreuses fermes aquaponiques sont en train de voir le jour, mais peu sont à maturité. De ce fait, on manque d'études et de statistiques permettent de valider les hypothèses de départ.
- L'investissement de départ est assez lourd. Cela dépend toutefois du type de conception : horizontale ou verticale. [11]

I.9 Hydroponique

La culture hydroponique est née d'un terme dérivé des mots grecs « hydro » qui signifie eau et « ponos » qui signifie travail, et se développe rapidement comme moyen de production de légumes, principalement de légumes sous serre. On peut dire qu'il s'agit justement de la culture des légumes où le sol est remplacé par une solution aqueuse riche en éléments minéraux indispensables à son développement. [12]

De manière simple, pour assembler un système hydroponique, il faut essentiellement un réservoir pour le stockage de l'eau avec les éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes où la solution nutritive présente dans le réservoir, à travers une pompe à eau, circule jusqu'au récipient de croissance des plantes. Ensuite, les nutriments sont absorbés par les racines et l'eau non utilisée retourne dans le récipient, fermant le cycle.

D'un point de vue commercial, la culture hydroponique est tout à fait pertinente, car elle ne dépend pas des sols fertiles, des saisons climatiques, de la préparation et de la gestion du sol, du contrôle des mauvaises herbes et du contrôle de certains ravageurs. Permet une production toute l'année, en optimisant le prix de vente hors saison, l'utilisation de zones inadaptées à la culture conventionnelle, a une croissance plus rapide que dans l'agriculture de sol, un retour économique rapide, élimine la rotation des cultures et économise l'eau, d'un point de vue environnemental, la culture hydroponique peut poser certains problèmes, car il est nécessaire de changer

fréquemment (environ une fois par mois) toute l'eau du système. La raison de cette procédure est que certains des éléments chimiques peuvent atteindre des niveaux toxiques pour les plantes. Selon la composition de l'eau à rejeter, il faut faire attention au lieu de son élimination, car cela peut entraîner de graves problèmes environnementaux [13].

Les avantages et les inconvénients de l'aquaponie. La combinaison du système hydroponique avec l'aquaculture a donné naissance à l'aquaponie. De manière synergique, les faiblesses des deux systèmes se transforment en atouts, minimisant la production de déchets et fournissant un apport en nutriments. [14]

I.10 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. [15]

I.10.1 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. [15]



Figure I.7 : Pompe immergé

I.10.2 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. [15]

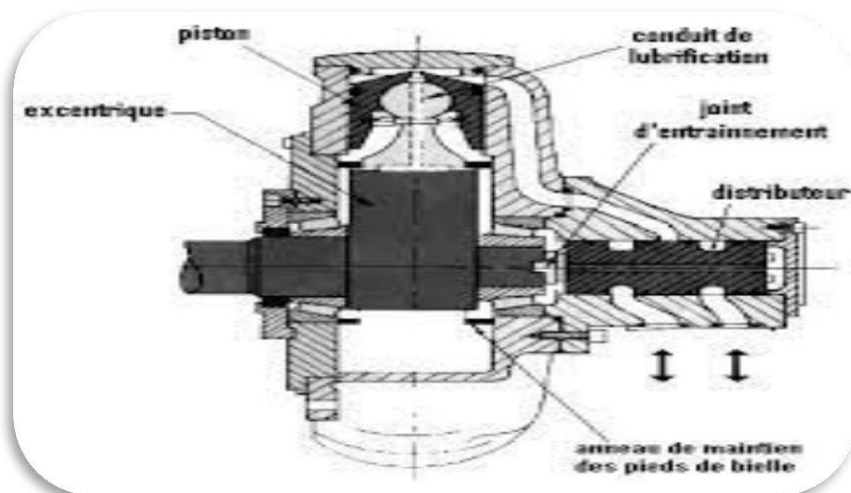


Figure I.8: La pompe volumétrique

I.10.3 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. [16]

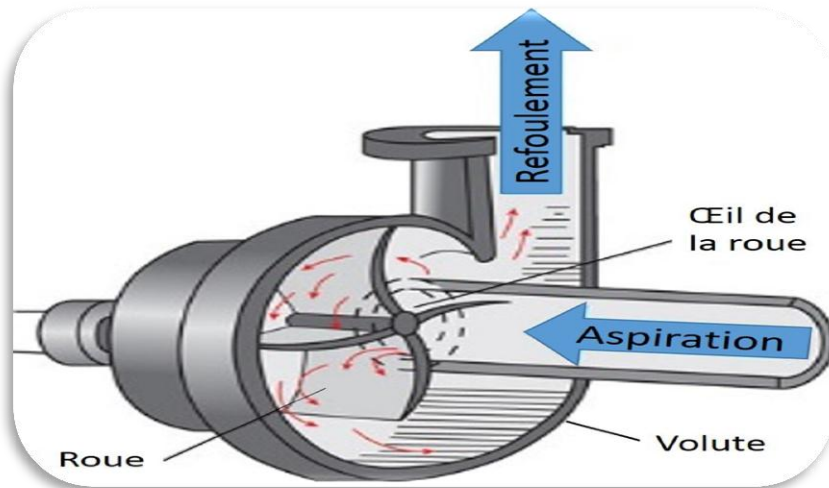


Figure I.9 : pompe centrifuge

I.10.4 Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges

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

	<p>intéressant dans l'application du système</p> <p>✚ photovoltaïque car la pompe peut tourner à un faible ensoleillement et le moteur peut avoir une vitesse de rotation rapide, à peu constant.</p>
--	---

Tableaux I.1 : Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges [16]

I.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit la notion d'aquaponie et nous avons cité les avantages qu'elle offre à l'agriculture et à l'économie, ainsi qu'à l'écologie et à l'être humain en général. Ce chapitre a fait l'objet d'étude des différentes techniques utilisées pour fabriquer un système aquaponique, et nous avons cité aussi leur différentes avantages et les inconvénients. La recherche des techniques existantes nous a guidés vers le choix de la technique qui convient le mieux à la réalisation de ce système. De ce fait, nous avons choisi la technique de Radeau (DWC) dans notre système aéroponique.

CHAPITRE 0 2 :

SYSTÈME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

II.1 Introduction

Les besoins énergétiques ne cessent de croître dans le monde. Malgré son énorme potentiel, l'énergie solaire ne correspond qu'à une partie négligeable de la production et de la consommation d'énergie en Algérie. Pourtant, l'exploitation du rayonnement solaire est compétitive à plusieurs niveaux par rapport aux autres sources d'énergies renouvelables. Il s'agit de la source d'énergie la plus répandue et la plus accessible sur terre. Chaque jour, le soleil envoie vers la terre 10 000 fois la quantité totale d'énergie consommée à l'échelle de la planète. [17]

Ce chapitre présente les principales notions sur la conversion photovoltaïque et son principe de fonctionnement, les types de cellules photovoltaïques, le modèle électrique et les courbes caractéristiques pour une meilleure compréhension d'un module photovoltaïque, les différents types de système photovoltaïque, le stockage de l'énergie PV, et nous avons terminé ce chapitre avec une conclusion.

II.2 Principe de fonctionnement

L'énergie solaire photovoltaïque est l'effet photoélectrique découvert par Heinrich Hertz dans la même expérience dans laquelle il a expérimentalement prouvé l'existence d'ondes électromagnétiques [18]. L'effet photoélectrique établit que lorsque la surface d'un métal est éclairée par de la lumière, des électrons sont émis. Les électrons doivent avoir une énergie minimale pour s'échapper de la surface métallique. Cette énergie minimale nécessaire pour s'échapper de la surface métallique est historiquement appelée fonction de travail (Φ). Chaque matériau a une fonction de travail caractéristique [19].

Dans le langage de la physique quantique, la fonction de travail correspond à une barrière de potentiel. Classiquement, si une particule a une énergie (E) supérieure au potentiel de barrière, la particule est capable de traverser la barrière en subissant une force de ralentissement. Dans le cas quantique, si l'énergie d'une particule n'est pas beaucoup plus grande que l'énergie de la barrière de potentiel, alors il y a une probabilité que la particule soit réfléchi à la surface du métal. Ce phénomène est complètement quantique et n'a aucune explication à la lumière de la physique classique [19] [20]. Dans le cas du silicium, qui est le matériau utilisé dans les cellules photovoltaïques, cette

probabilité est de 87 %. Cela signifie que le silicium ne serait pas le meilleur matériau à utiliser pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Mais le silicium est le matériau le plus abondant disponible pour l'humanité. Pour cette raison, il a été largement utilisé dans cette technologie [20] [21].

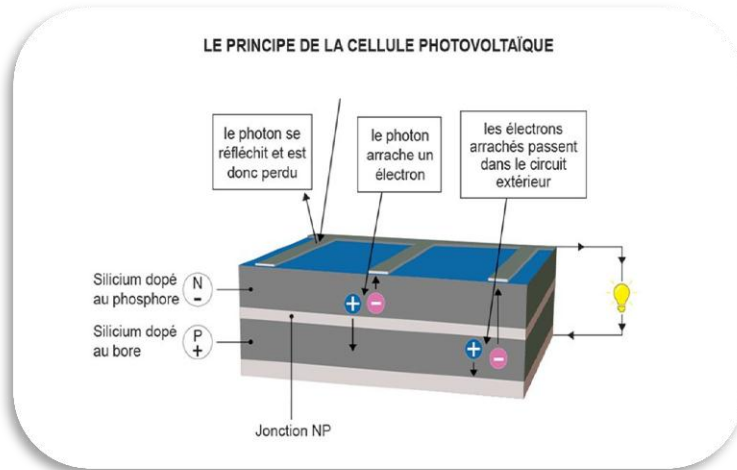


Figure II.1 : principe de fonctionnement de la cellule PV

II.3 Théorie des semi-conducteurs

Dans la génération photovoltaïque, les cellules sont constituées de matériaux semi-conducteurs capables de convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique par effet photovoltaïque [22].

Le matériau le plus utilisé dans la fabrication des cellules est le silicium (Si), en raison de son abondance dans la nature. Le silicium a une probabilité quantique élevée pour que les électrons soient réfléchis dans le matériau. Parce qu'il est en métal, lorsqu'il est éclairé, l'effet photoélectrique se produit, utilisé dans les cellules photovoltaïques. Cet effet permet de transformer l'énergie des photons présents dans la lumière solaire en mouvement d'électrons et donc en énergie électrique [21]. Si est un semi-conducteur et a donc l'existence d'une bande de valence et d'une bande de conduction, l'une remplie d'électrons et l'autre totalement vide, respectivement [23] [24]. Cependant, le silicium pur n'est pas un bon conducteur d'électrons. Ainsi, il est nécessaire de subir un processus de dopage pour augmenter sa conductivité électrique. Ainsi, une petite quantité d'impureté est introduite, avec des propriétés favorables qui affectent le comportement électrique du matériau [25]. La formation de semi-conducteurs de type N et P

II.3.1 Semi-conducteur de type N

Le silicium a quatre électrons de valence. Ainsi, pour former le semi-conducteur de type N, l'atome de phosphore est ajouté, qui a cinq électrons de valence. Il y aura donc un électron en excès. La liaison avec l'atome source devient faible et avec peu d'énergie thermique, cet électron en excès devient libre et se déplace vers la bande de conduction [23]. La figure II.2 illustre le matériau de type N.

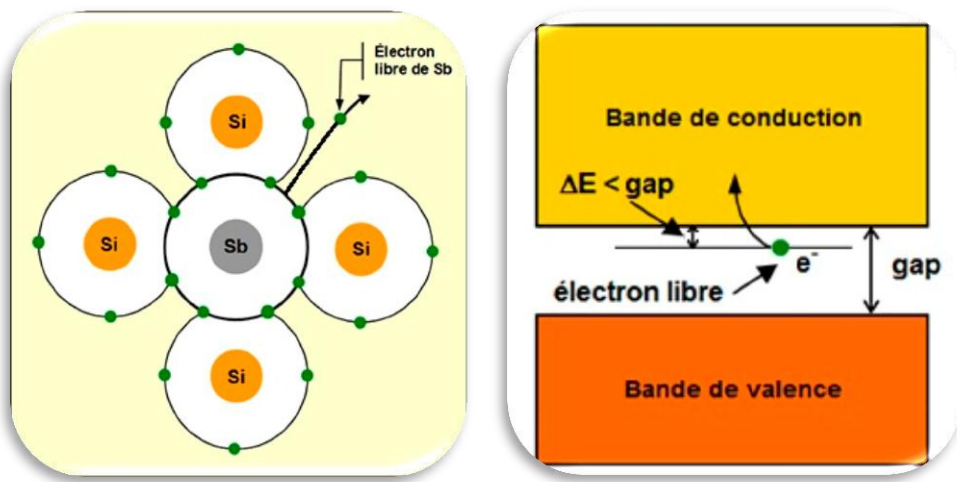


Figure II.2 : Semi-conducteur de type N

II.3.2 Semi-conducteur de type P

Pour obtenir le semi-conducteur de type P, le même processus est effectué, mais en ajoutant l'atome de bore, qui est un élément à trois électrons de Valence. En conséquence, il y aura un manque d'électron pour que la structure devienne stable. De cette façon, il y aura un écart et avec peu d'énergie thermique, l'électron d'un site voisin comblera ce vide, provoquant l'écart se déplace vers un autre site adjacent vacant [23].

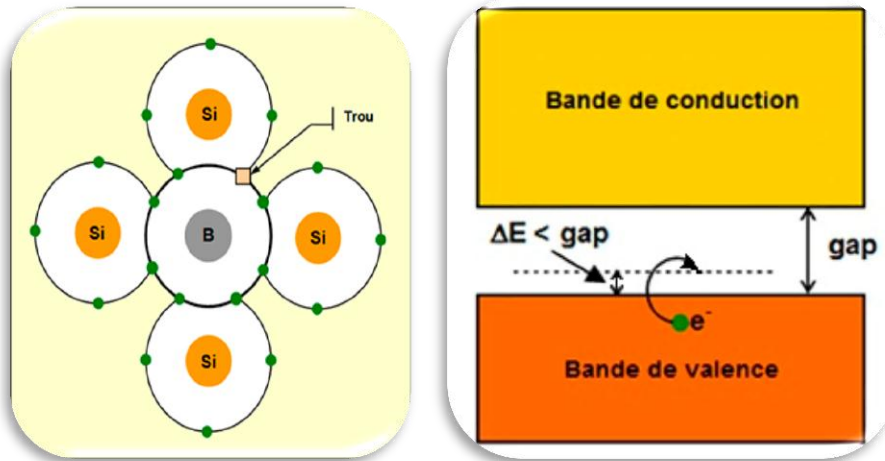


Figure II.3 : Semi-conducteur de type P

Ce processus se produit dans un cycle sans fin, car il y aura toujours une recombinaison, dans le qui pour chaque électron déplacé vers la bande de conduction il y aura un trou laissé par cet électron, qui sera rempli successivement par un autre électron [23].

II 3.3 Jonction PN

L'union des couches P et N provoque une recombinaison d'électrons et de trous dans la région de jonction, formant une barrière de potentiel. Ainsi, lorsqu'ils sont interconnectés, un flux de semi-conducteur de type N à P, entraînant un courant électrique s'il est connecté à une charge [23].

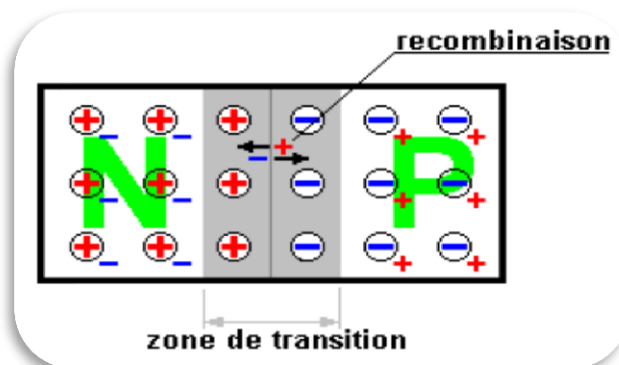


Figure II.4 : Jonction PN

Selon, les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque sont les identique à une diode à jonction PN. Par conséquent, la courbe caractéristique VI est équivalente. [26]

II.4 Types des cellules photovoltaïques

Actuellement, les cellules photovoltaïques sont fabriquées, pour la plupart, à partir de silicium (Si) et peuvent être constituées de cristaux monocristallins, poly cristallins ou amorphes. Dans ce travail, le type monocristallin et poly cristallin sera discuté, puisque les deux modèles sont commercialisés sur le marché brésilien de l'énergie solaire photovoltaïque [10]. Il est important de noter que les modules photovoltaïques monocristallins et poly cristallins remplissent les mêmes fonctions. Cependant, le processus de production est différent, ce qui affecte les performances et la durabilité de la cellule photovoltaïque [26].

II.4.1 Les cellules Poly cristallin (p-Si)

Actuellement, le marché de l'énergie solaire subit une mutation qui fait référence à l'extinction des cellules poly cristallines. Les principales raisons de ce changement sont la réduction de la différence de prix entre les cellules monocristallines et poly cristallines et la préférence du marché mondial pour des modules plus efficaces [27]. Cette technologie est moins chère à fabriquer que les cellules monocristallines en raison du processus de préparation moins rigoureux. Il se compose de nombreux petits cristaux, produisant un effet de ruban métallique, avec une finition en mosaïque bleu clair. Ceux-ci sont efficaces en lumière diffuse et lorsque les températures sont plus basses. En raison de la production de masse mondiale, il s'agit généralement de l'option solaire photovoltaïque la plus rentable. La figure (II.5) illustre la cellule poly cristalline.

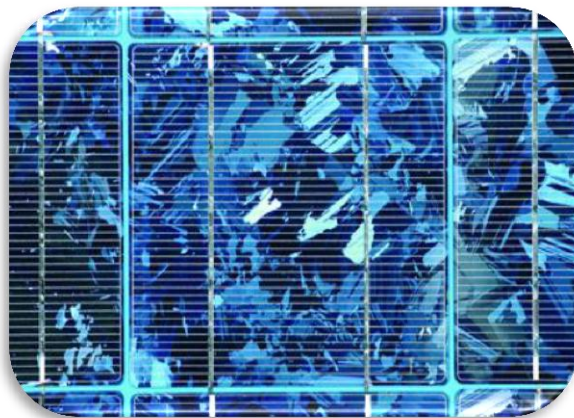


Figure II.5 : cellule poly cristalline

Les cellules poly cristallines sont obtenues à partir de cristaux de silicium pur, fusionnés en blocs spéciaux afin de préserver la formation de plusieurs cristaux. Le silicium refroidit lentement et se solidifie. Après fusion, le silicium est scié en bloc carré et tranché [28]. Les modules photovoltaïques poly cristallins ont un rendement inférieur à celui de la technologie monocristalline. Actuellement, ils ont une efficacité comprise entre 13 % et 17,3 %, selon le fabricant [27]

II.4.2 Les cellules Monocristallin (m-Si)

Le silicium monocristallin est formé d'un seul bloc cristallin, créant des cellules plus efficaces et permettant la fabrication de modules avec une plus grande puissance par zone, ce qui réduit l'espace physique pour la production d'énergie à grande échelle, offrant un meilleur retour sur investissement des systèmes photovoltaïques. Cependant, la fabrication de ce type de cellule est plus complexe et nécessite de plus grandes quantités d'énergie et de matières premières [27]. Les cellules m-Si sont obtenues à partir de barres cylindriques d'un seul cristal ultra pur, avec une teneur en pureté de 99,9999 %. Par la suite, la fusion a lieu avec une petite quantité de matériau dopant, le bore (qui est de type P). Les barreaux sont découpés en tranches de silicium individuelles d'épaisseurs allant de 0,4 à 0,5 mm². Après découpe et nettoyage, des impuretés de type N sont insérées pour former la jonction PN [29]. La figure(II.6) illustre la cellule monocristalline



Figure II.6 : cellule monocristalline

Les modules photovoltaïques monocristallins ont les rendements les plus élevés parmi toutes les technologies actuellement commercialisées. Le fabricant de modules photovoltaïques Jinko Solar et Tallmax ont lancé un modèle de 410Wc avec une efficacité de 20,38% et 20,20%, respectivement [29]. Selon l'article publié dans Canal Solar (2019), une conjonction de facteurs indique que la fabrication de modules photovoltaïques à cellules poly cristallines va disparaître dans les années, étant dominé par des cellules de type monocristallin. Cette nouvelle a des impacts positifs pour les consommateurs, car la différence de prix entre les cellules mono et poly diminue, en plus des modules monocristallins présentant une plus grande puissance par zone et plus efficaces, ils arrivent sur le marché à une vitesse accélérée [27].

II.4.3 Les cellules amorphes :

Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment). [27]

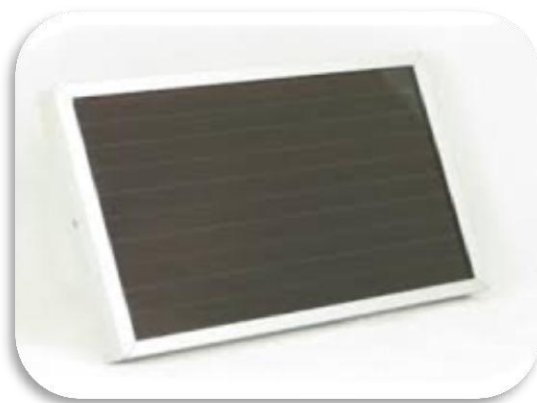


Figure (II.7) : cellule amorphe

II.5 Modèle électrique

Il est important de comprendre le comportement d'une cellule photovoltaïque dans un modèle équivalent. Il existe deux modèles analogues pouvant représenter une cellule photovoltaïque : le modèle idéal et le modèle réel. La différence entre les deux réside dans les facteurs de perte contenus

dans le modèle réel [30]. Le modèle idéal de la cellule photovoltaïque peut être représenté par une diode, dans laquelle la cellule est considérée comme une source de courant, ses résistances série et parallèle étant négligées [26]. La figure (II.8) illustre le modèle d'une cellule idéale

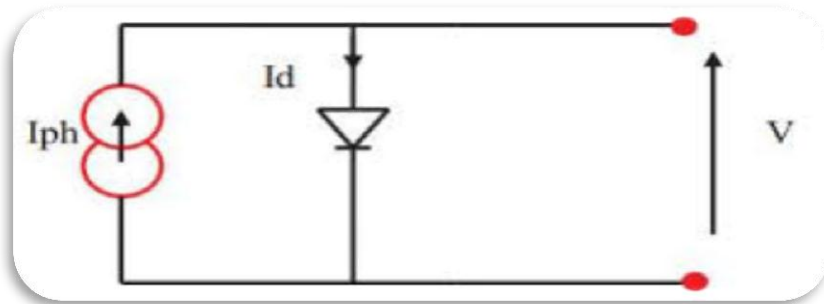


Figure II.8 : Circuit équivalent idéal d'une cellule photovoltaïque

L'équation de base qui décrit mathématiquement le modèle idéal est représentée par l'équation (II.1) :

$$I = I_{ph} - I_D \quad (II.1)$$

Cependant, les équations présentées pour le modèle idéal ne représentent pas les caractéristiques I-V d'une cellule réelle [30]. Ainsi, il est nécessaire d'expliquer le modèle d'une cellule réelle, comme indiqué ci-dessous. Le modèle réel est représenté par une source de courant I_{pv} , qui est liée à l'irradiation solaire et à la température ; par une diode antiparallèle la source de courant, dont la fonction varie en fonction de la température du module et de la charge qui lui est connectée ; et enfin les résistances, R_s et R_{sh} , représentent les pertes résistives dans le matériau et les pertes qui se produisent dans les couches de jonction PN semi-conductrices, respectivement [26]. Illustration (II.9) illustre le modèle d'une cellule réelle.

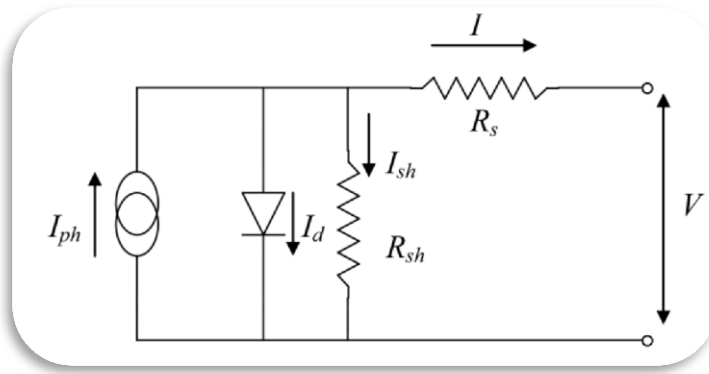


Figure II.9 : Circuit équivalent réel d'une cellule photovoltaïque

A partir du circuit équivalent du modèle réel, il est possible d'obtenir mathématiquement l'équation représentant le courant de sortie. En appliquant la loi des nœuds de Kirchhoff au circuit, le courant de sortie (I) de la cellule photovoltaïque est donné par l'équation.

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (II.2)$$

L'équation (II.2) relie le courant généré par l'effet photovoltaïque I_{pv} , le courant traversant la diode I_D et le courant de fuite traversant la résistance parallèle I_P . [15], le courant traversant la diode à jonction PN en fonction de la tension appliquée peut être déterminée par l'équation (II.3).

$$I_D = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T_{cell}}\right) - 1 \right] \quad (II.3)$$

I : Le courant fourni par la cellule

I_D : Le courant traversant la diode

I_0 : Le courant de saturation inverse d'une diode

e : la charge des électrons

V : la tension à la borne de la diode

m : le facteur d'idéalité de la diode

k : la constante de Boltzmann

T : La température effective de la cellule en kelvin

En substituant l'équation (II.3) à (II.2) et en considérant les chutes de tension dans résistance en série R_s , l'équation (II.4) est obtenue qui relie le courant généré à partir de l'incidence lumineuse sur la jonction PN de la cellule photovoltaïque en fonction de la tension et de la température [31].

$$I_D = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e.V}{m.k.T_{cell}}\right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (II.4)$$

Comme on peut le voir dans l'équation (II.4), l'expression n'est valable que pour une cellule photovoltaïque unique. Dans le cas d'un module photovoltaïque avec des cellules connectées en série, il suffit d'ajouter un terme représentant le nombre de cellules connectées N_s et les résistances R_s et R_{sh} représentent les valeurs totales d'un module. L'équation (II.5) réécrit l'expression (3.4) pour un module photovoltaïque [31] [32].

$$I_D = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e.V}{N_s.m.k.T_{cell}}\right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (II.5)$$

N_s : nombre de cellules connectées

II.6 Courbes caractéristiques (I-V P-V)

Les fabricants de modules photovoltaïques fournissent des informations dans le catalogue du produit (fiche technique), de sorte que les interprétations sont essentielles pour le bon dimensionnement des installations photovoltaïques. Dans ces informations, des graphiques sont présentés sous forme de courbes dans des conditions d'essai normalisées STC2, appelées courbes I-V [33]. Il est important de noter que les courbes sont exponentielles et varient selon l'équation

II.6.1 Courbe caractéristique I-V

La caractéristique de sortie du module est donnée par la courbe Courant IV Tension. Cette courbe simule le comportement du courant de sortie avec la tension dans différentes conditions de température et rayonnement [30]. La figure (II.10) illustre la courbe caractéristique de sortie du module photovoltaïque en STC avec les principaux points indiqués

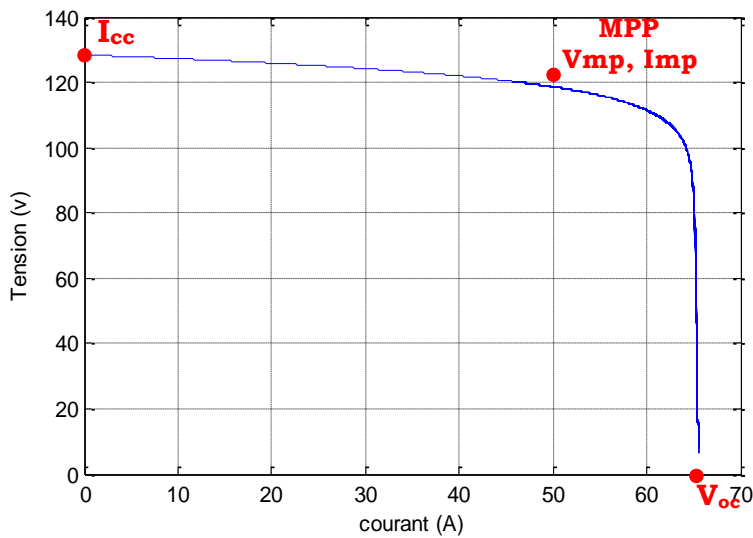


Figure II.10 : courbe caractéristique Ipv

En analysant la Figure (II.10), le terme I_{cc} il indique le courant de court-circuit. C'est le courant maximal que le module produit lorsque ses bornes sont en court-circuit. La tension en circuit ouvert, représentée par le terme V_{oc} , indique la tension maximale fournie par le module PV lorsque ses bornes sont ouvertes. Dans ce cas, il n'y a pas chaîne. De cette manière, la puissance est nulle [22]. Les termes V_{mp} et I_{mp} respectivement la tension et la courante maximum puissance fournie par le module photovoltaïque dans certaines conditions de rayonnement et température [26].

II.6.2 Courbe caractéristique P-V

A chaque point généré sur la courbe IV, représenté sur la Figure, correspond un point sur la courbe PV, c'est-à-dire que la courbe PV montre comment la puissance de sortie d'un module système photovoltaïque varie en fonction de sa tension [23]. Illustration (II.11) représente une courbe PV typique.

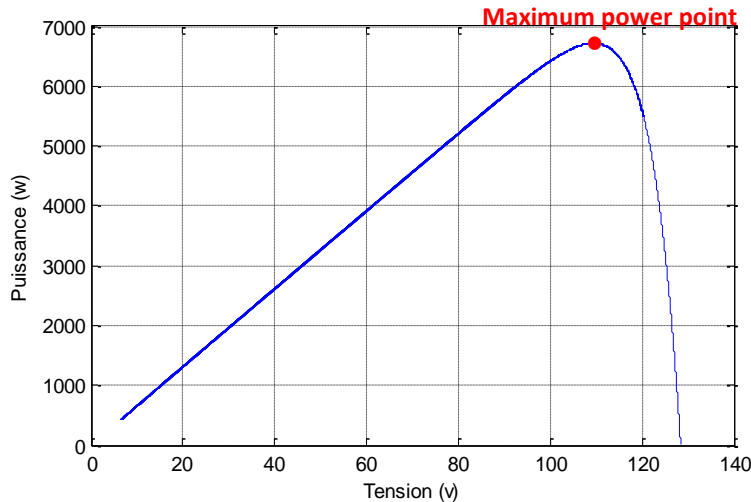


Figure II.11 : courbe caractéristique Ppv

II.7 Influences météorologiques sur les caractéristiques électriques

Deux facteurs climatiques influencent directement les caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque, à savoir : l'intensité du rayonnement solaire et la température des cellules [30]. Il est possible de simuler les courbes caractéristiques d'un module et d'observer le comportement de chaque variable sous des conditions de température et de rayonnement solaire dans différentes conditions [26].

II.7.1 Influence de l'éclairement

Lorsque la variation du rayonnement solaire incident sur un module photovoltaïque se produit, il y a une réduction proportionnelle instantanée du courant généré, réduisant ainsi les performances du module. La tension en circuit ouvert subit peu de changement avec la variation de l'intensité lumineuse, cependant, pour des réductions importantes, il y a un déplacement du point de puissance maximale, provoquant également une réduction de la puissance générée [34]. Les figures (II.12) et (II.13) illustre cette influence sur les courbes I-V et P-V.

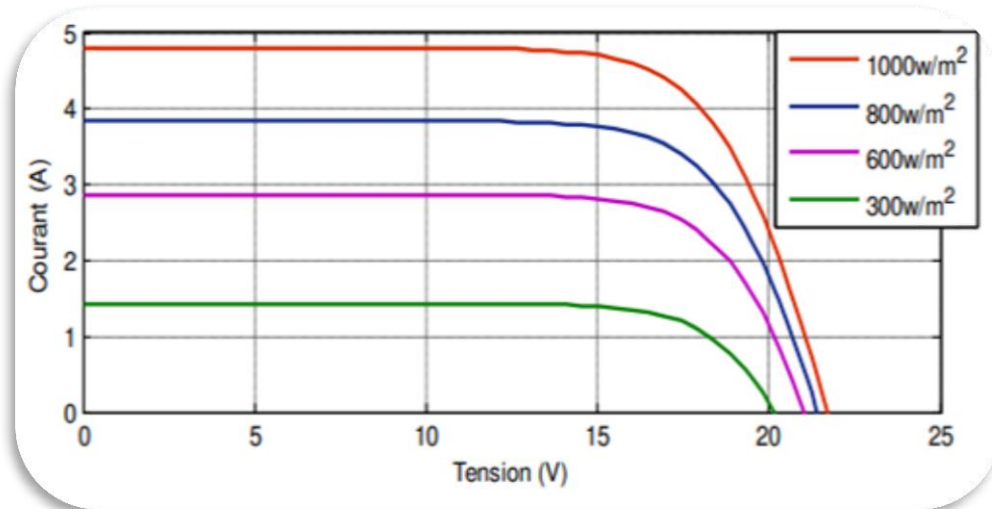


Figure II.12 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I-V

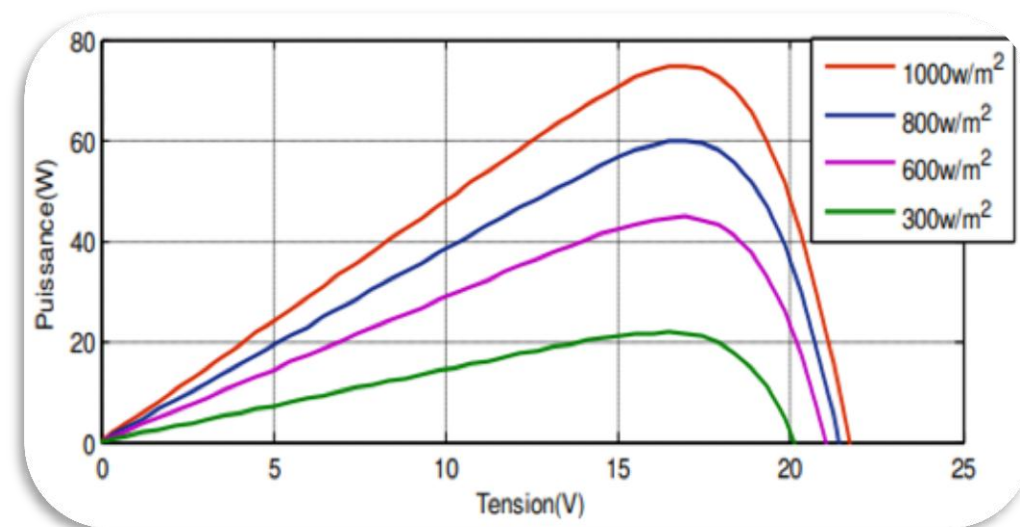


Figure II.13 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique P-V.

II.7.2 Influence de la température

La température a également une influence directe sur les performances du module photovoltaïque. Cependant, la température n'affecte pas le courant généré dans le module, elle interfère directement avec la tension en circuit ouvert, provoquant une réduction significative de ses valeurs, en plus du déplacement considérable du point de puissance maximale, provoquant également une réduction du généré Puissance. Ainsi, plus la température est élevée, plus la tension fournie par le module est faible et plus la puissance générée est faible [34]. Les figures (II.14) et (II.15) illustre cette influence sur les courbes I-V et P-V

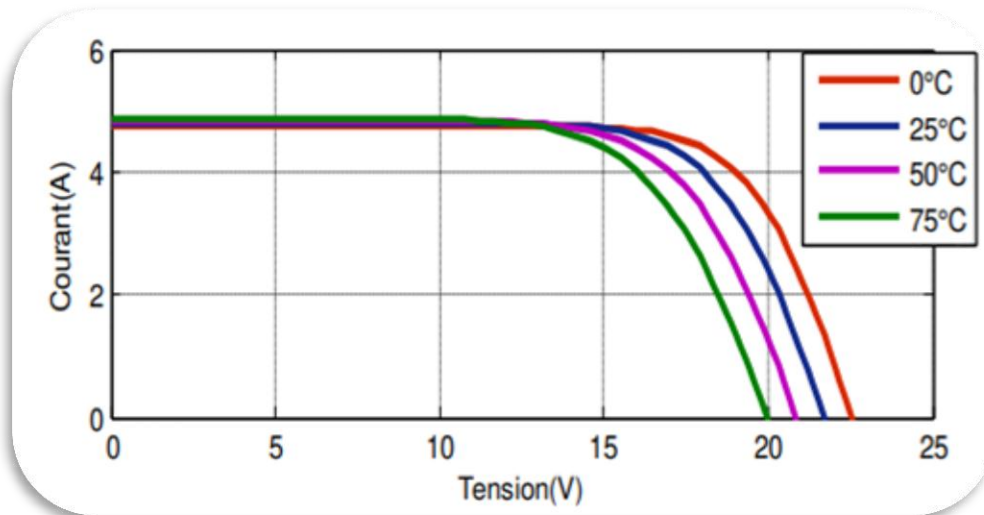


Figure II.14 : Effet de la température sur la caractéristique I-V.

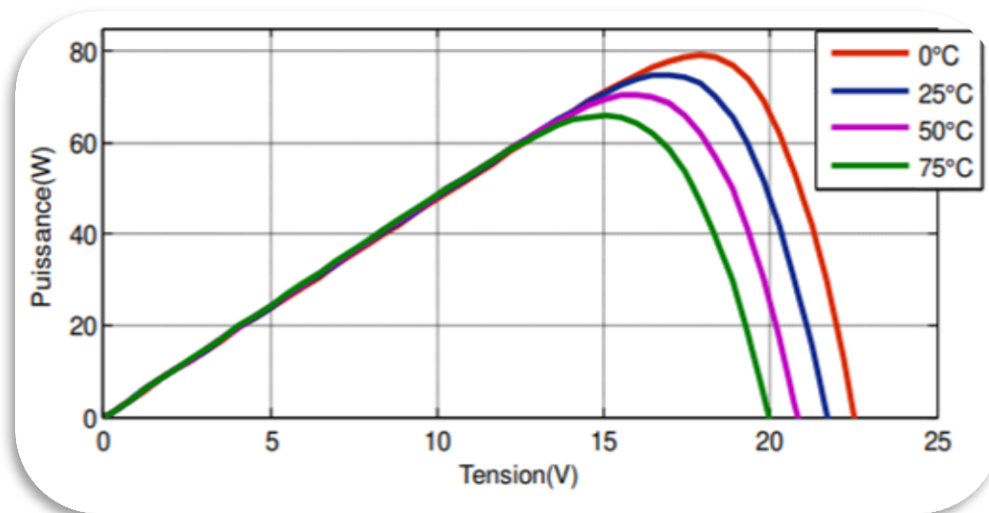


Figure II.15 : Effet de la température sur la caractéristique P-V.

II.8 Les différents systèmes photovoltaïques

Les modules PV sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV. L'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu

Elle peut aussi être utilisée en reliant directement les modules à la charge sans les batteries (ex. : pour une pompe solaire, l'eau sert de stockage), ou en les branchant sur un réseau électrique. Il est également possible de combiner la

sortie du champ PV avec d'autres sources d'énergie telles une génératrice ou une éolienne qui serviront d'appoint, si l'ensoleillement n'est pas suffisant. [35]

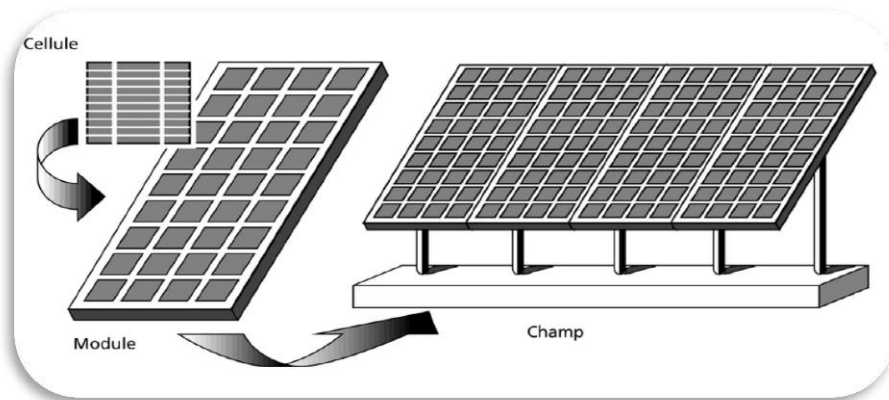


Figure II.16 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques

Bien qu'il existe trois types de systèmes photovoltaïques :

II.8.1 Systèmes photovoltaïques autonomes

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit :

- **Système autonome sans batterie.** Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (ex. : calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex. : pompe à eau: le réservoir d'eau sert de stockage).
- **Système autonome avec batterie.** C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie.

L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour.

II.8.2 Système hybride

Ce système utilise les avantages de l'énergie photovoltaïque et de la génératrice au diesel, au propane ou à l'essence. Le système photovoltaïque fournit une énergie intermittente mais souvent moins coûteuse en régions éloignées. Les systèmes hybrides PV/génératrices sont souvent utilisés pour les

tours de communications ainsi que pour les refuges et les camps forestiers en régions éloignées. [35]

II.8.3 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 a 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 [35]

II.9 Le stockage d'énergie

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage électrochimique (batterie) ou stockage d'eau (hydraulique).

II.9.1 Les batteries

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes.

Il existe 3 types de batteries:

- **Les batteries plomb-acide ouvertes** (batteries de voitures) qui ont une durée de vie courte et nécessitent beaucoup d'entretien
- **Les batteries plomb-acide étanches** (batteries sèches) qui ont une durée de vie plus longue et qui nécessitent moins d'entretien
- **Les batteries à gel** qui ont une durée de vie beaucoup plus longue et qui ne nécessitent presque pas d'entretien [36]

II.9.1.1 Charge-décharge de la batterie

Le rôle du régulateur dans une installation solaire est très important car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 95%). Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie

II.9.1.2 Le cyclage

Un cycle charge/décharge d'une batterie lui fait subir un léger affaiblissement de sa capacité, qui est d'autant plus important que la décharge est profonde. La durée de vie d'une batterie est donc liée au nombre de cycles charge/décharge et à leur profondeur. [36]

II.9.1.3 État de charge et profondeur de décharge

L'état de charge (SOC), exprimé en %, est le rapport entre la capacité résiduelle et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie restant dans la batterie.

La profondeur de décharge (DOD), exprimé en %, est le rapport entre la capacité déjà déchargée et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie consommée dans la batterie. [36]

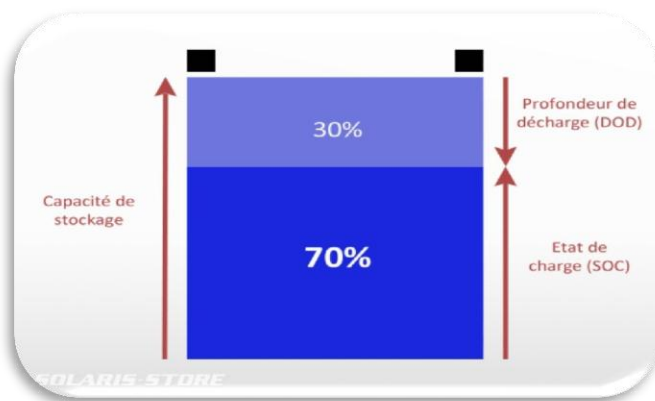


Figure II.17: Batterie qui a une profondeur de décharge de 30% à un état de charge de 70%.

II.9.1.4 La capacité de stockage des batteries solaires :

La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...). Avec un régulateur solaire (qui se branche entre les panneaux solaires et la batterie), réguler la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 90%, ni ne doit descendre sous les 40%, car une surcharge

comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie. [36]

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une approche générale sur l'énergie photovoltaïque, tels que présenté principe de fonctionnement, les types de cellules photovoltaïques, le modèle électrique et les courbes caractéristiques pour une meilleure compréhension d'un module photovoltaïque, les différents types de système photovoltaïque comme le système autonome, raccordé au réseau et hybride, finalement nous avons présenté le stockage de l'énergie PV de notre système. Je conclus que l'énergie solaire est très importante dans le monde, elle joue le rôle d'un réservoir de l'énergie électrique.

CHAPITRE 0 3 :
CONVERSION STATIQUE,
MODÉLISATION ET SIMULATION DU
SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

III.1 Introduction

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de hacheur ou convertisseur continu-continu DC-DC), soit entre la batterie et la charge alternative (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif DC-AC). Les Équations mathématiques développées pour modéliser les performances de divers éléments d'un système de pompage photovoltaïque (par exemple, moteurs et pompes)

Ce chapitre sera divisé trois parties essentielles :

Nous présenterons en premier lieu les différents convertisseurs utilisé dans le système de pompage photovoltaïque :

Nous commençant par une description des différent convertisseurs DC-DC (BUCK, BOOST), ainsi que les méthodes utilisées pour l'extraction du maximum de puissance (MPP) fournie par le système photovoltaïque à travers le contrôle de convertisseur DC-DC, suivi par le convertisseur DC-AC (onduleur monophasé) pour pouvoir fournir une tension alternative à la pompe, dans la deuxième partie les modèles mathématiques de ces systèmes (moteur asynchrone monophasé, pompe centrifuge), Nous avons également parlé de la commande scalaire pour la modélisation en régime permanent du moteur à induction , seront présentés.

A la fin de ce chapitre nous validant notre travail par une simulation et interprétations des résultats obtenues de notre système de pompage d'eau photovoltaïque sous logiciel (Matlab/Simulink).

III.2 Les convertisseurs d'électronique de puissance

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu continue), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif). [37]

III.2.1 Le convertisseur DC-DC

Pour la conversion de puissance, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage de l'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs.

Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS (transistors à effet de champ d'oxyde de métal) sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (Transistors bipolaires à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été généralement utilisés et acceptés dans les plus hauts niveaux de puissance. [37]

a) Le convertisseur Buck

Le convertisseur Buck ou le convertisseur abaisseur, son nom indique son typique application de la conversion de sa tension d'entrée en une tension de sortie plus basse, ou le taux de conversion $\eta = V_o/V_i$ varie avec le rapport cyclique D de l'interrupteur

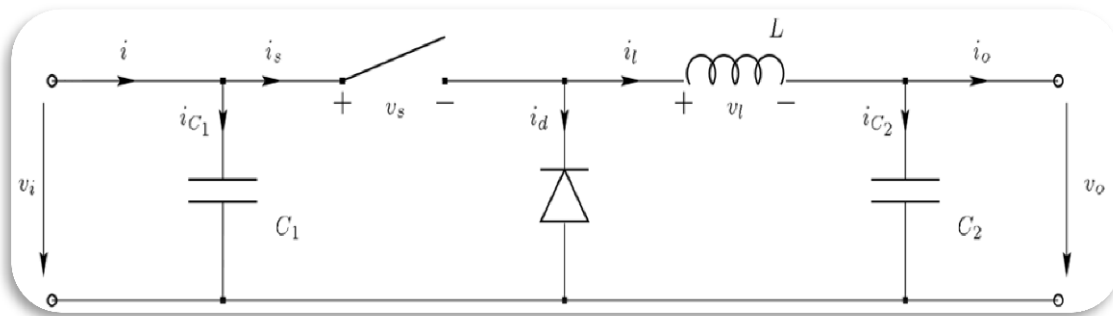


Figure III.1 : Circuit idéal d'un convertisseur Buck

Pendant la fermeture de l'interrupteur dans la figure III.1 $t \in [0, DT]$, la diode est bloquée et le courant traverse l'inductance L vers la charge. Dès que l'interrupteur est ouvert $t \in [DT, T]$, l'inductance L maintient le courant dans la charge et la diode sera polarisée. [37]

b) Le convertisseur Boost

Le convertisseur Boost, comme le montre la figure III.2, est également connu comme le convertisseur élévateur car la tension de sortie

est supérieure à la valeur moyenne de celle de l'entrée, il fonctionne essentiellement comme un convertisseur abaisseur de la tension inverse. Le schéma équivalent du convertisseur est représenté dans la figure (III.2)

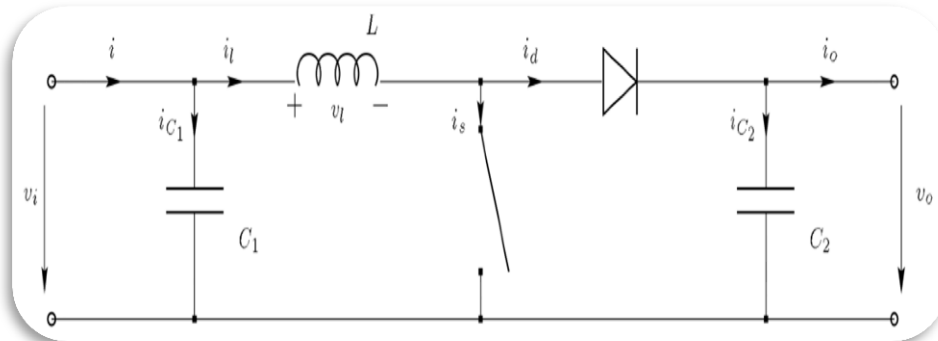


Figure III.2 : Circuit idéal d'un convertisseur Boost

Pendant la fermeture de l'interrupteur $t \in [0, DT]$ le courant traverse l'inductance (L) et la diode reste bloquée, donc le courant (i_d) est nul. [37]

III.2.2 Le Convertisseur DC-AC (Onduleur Monophasé)

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé. Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite. Il est très efficace pour des caractéristiques d'entrée et de sortie fixe. Son coût assez élevé et la nature variable de l'ensoleillement et du couple résistant des pompes en général ont longtemps exclu l'emploi des moteurs à courant alternatif pour le pompage solaire. [38]

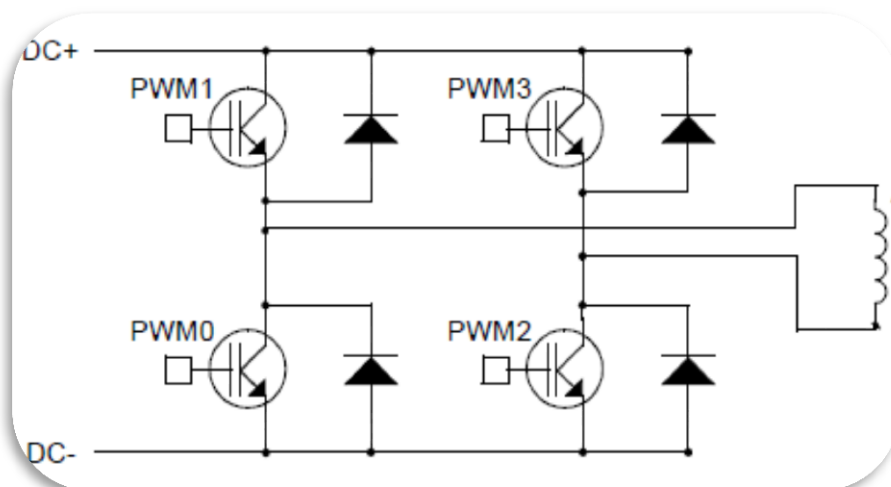


Figure III.3 : Circuit équivalent d'un onduleur monophasé

Les onduleurs de pompage sont en général à fréquence (f) variable afin de permettre une variation de la vitesse de rotation de la pompe. Dans ce cas, le rapport de la tension alternative

(U) sur la fréquence (f) est constant. La fréquence du courant alternatif est directement proportionnelle à l'intensité de l'ensoleillement. [38]

III.3 Technique de maximisation de puissance

Il existe des lois de commandes spécifiques nommées dans la littérature « commande extrême » pour des dispositifs physiques devant fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques même si, a priori ces points ne sont pas connus à l'avance, ces derniers pouvant même à n'importe quel moment se modifier pour diverses raisons. Pour le cas de sources énergétiques, cela se traduit par la présence d'un à plusieurs Points de Puissance Maximum (PPM). Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien « Maximum Power Point Tracking » en anglo-saxon (MPPT) lorsqu'il est appliqué aux systèmes énergétiques. Le principe de ces systèmes de gestion est d'effectuer à la fois une recherche du PPM tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance produite vers la charge. La figure III.4 représente une chaîne élémentaire typique de conversion photovoltaïque associée à une commande MPPT fournissant une puissance électrique à une charge DC. [37]

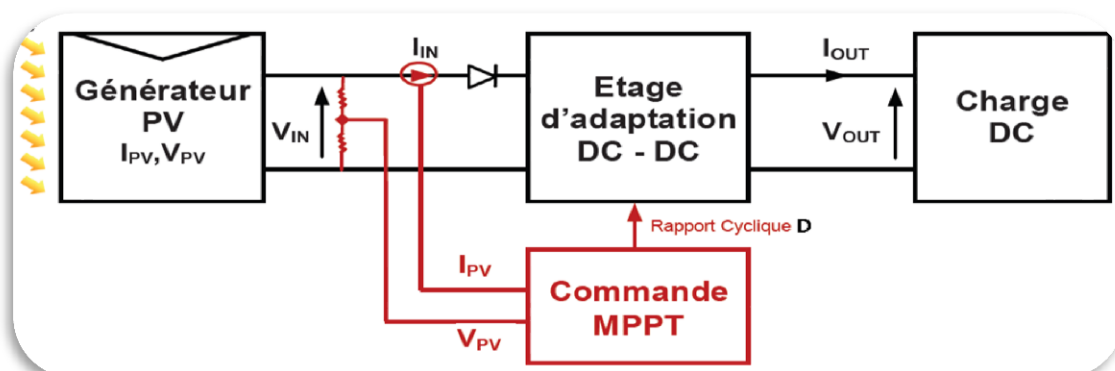


Figure III.4 : Schématisation d'une chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement, quelles que soient les instabilités météorologiques ou les variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment. On peut distinguer les méthodes basées sur l'incrément de conductance (IncCond) et les méthodes « *Perturb & Observe* » (P&O). [37]

III.3.1 Méthode « *Perturb & Observe* » (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type **P&O** consiste à perturber la tension (V_{PV}) d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance (P_{PV}) qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure III.5 on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance (P_{PV}), cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique PPV(V_{PV}), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers 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

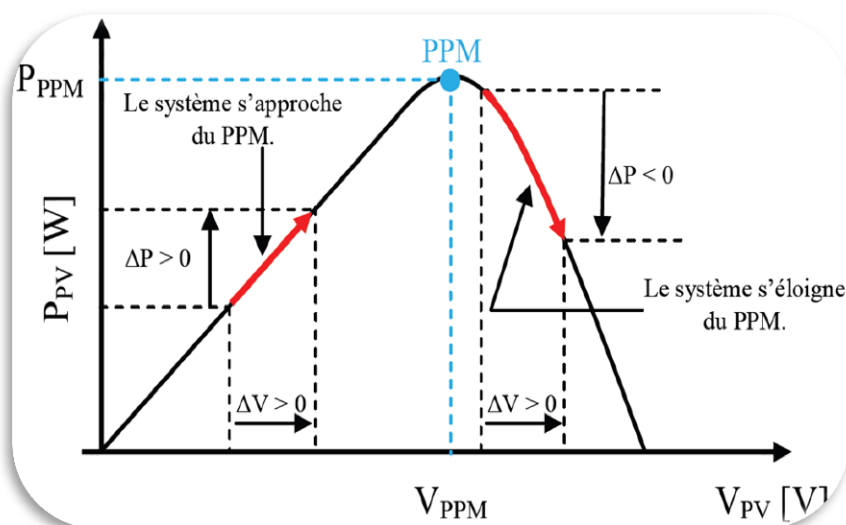


Figure III.5 : Illustration du principe de la commande MPPT type « P&O »

La figure (III.6) représente l’algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l’évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant. [37]

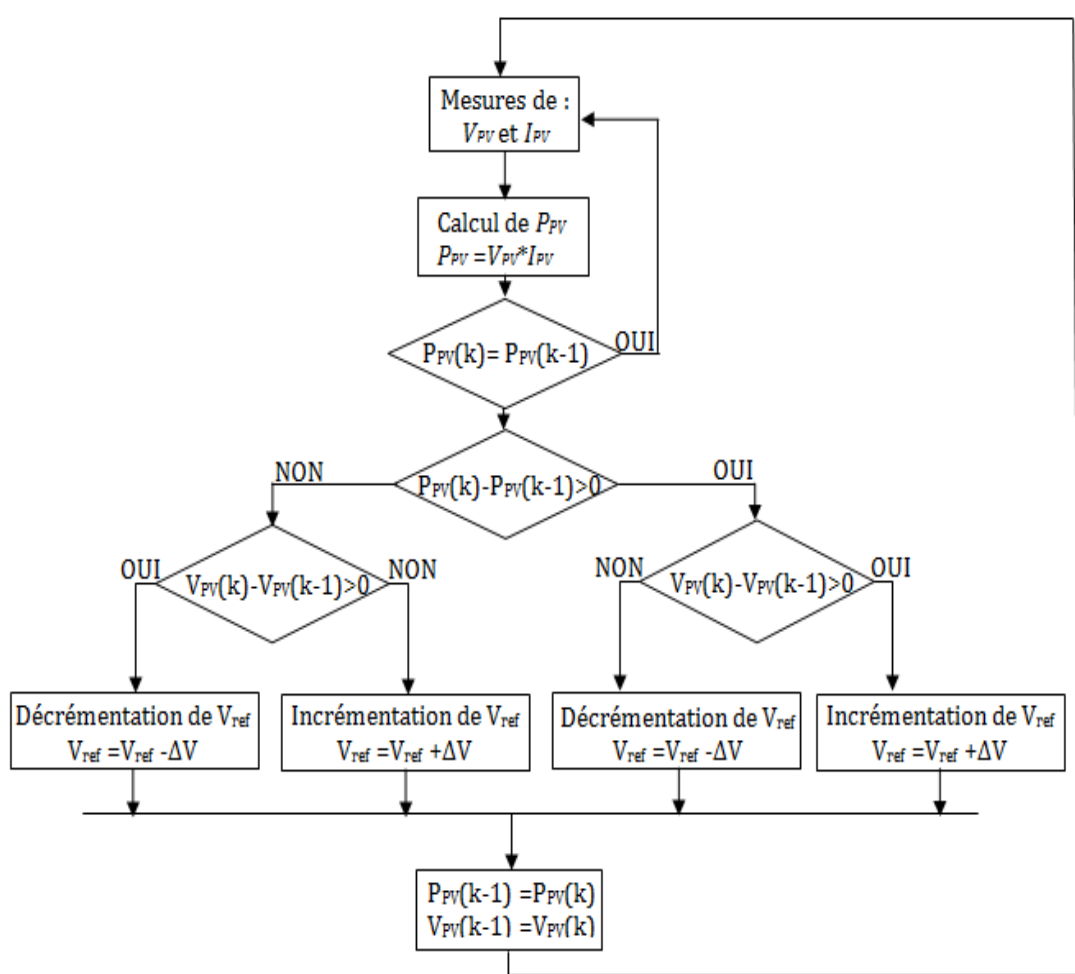


Figure III.6: Algorithme type de la méthode P&O.

La méthode P&O est aujourd’hui largement utilisée de par 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. [37]

III.3.2 La méthode “Incrément de conductance” (IncCond)

Pour rechercher les PPM, cette autre technique se base sur la connaissance de la variation de conductance du GPV et des conséquences sur la position du point de fonctionnement par rapport à un PPM[e]. Ainsi, la conductance du module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV comme indiqué ci-dessous :

$$G = \frac{I_{PV}}{G_{PV}} \quad (III.1)$$

Et une variation élémentaire (incrément) de conductance peut être définie par :

$$dG = \frac{dI_{PV}}{dG_{PV}} \quad (III.2)$$

D'autre part, l'évolution de la puissance du module (P_{PV}) par rapport à la tension (V_{PV}) donne la position du point de fonctionnement par rapport au PPM. Lorsque la dérivée de puissance est nulle, cela signifie que l'on est sur le PPM, si elle est positive le point d'opération se trouve à gauche du maximum, lorsqu'elle est négative, on se situe à droite. La figure III.7 permet d'écrire les conditions suivantes :

- Si $dG = \frac{dP_{PV}}{dG_{PV}} > 0$, le point de fonctionnement est à gauche du PPM,
 - Si $dG = \frac{dP_{PV}}{dG_{PV}} = 0$, le point de fonctionnement est sur le PPM,
- (III.3)
- Si $dG = \frac{dP_{PV}}{dG_{PV}} < 0$, le point de fonctionnement à droite du PPM,

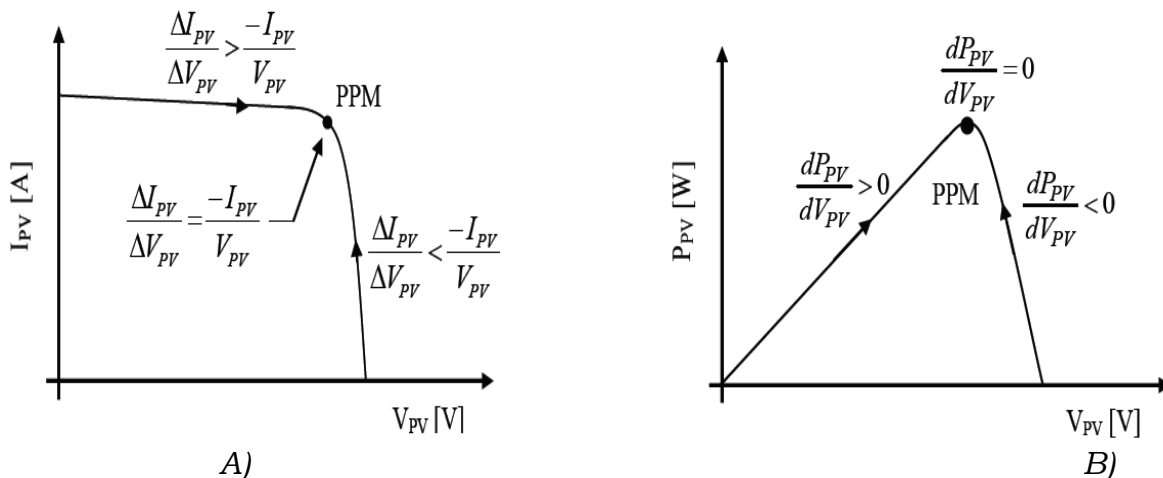


Figure III.7: Positionnement du point de fonctionnement suivant :
 A) le signe de dP_{PV}/dV_{PV} sur la caractéristique de puissance
 B) le signe de la valeur de $\Delta I_{PV}/\Delta V_{PV}$ sur la caractéristique de courant

Le lien entre la conductance donnée par l'équation (III.2) et la dérivée de la puissance (dP_{PV}/dV_{PV}) peut être décrit par l'équation suivante :

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = \frac{d(I_{PV} \times V_{PV})}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \cdot \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \cong I_{PV} + I_{PV} \cdot \frac{\Delta I_{PV}}{\Delta V_{PV}} \quad (III.4)$$

Le maximum de puissance peut être alors traqué en effectuant des comparaisons à chaque instant de la valeur de la conductance (I_{PV}/V_{PV}) avec celle de l'incrément de conductance ($\Delta I_{PV}/\Delta V_{PV}$), comme l'illustre l'algorithme de la figure(III.8)

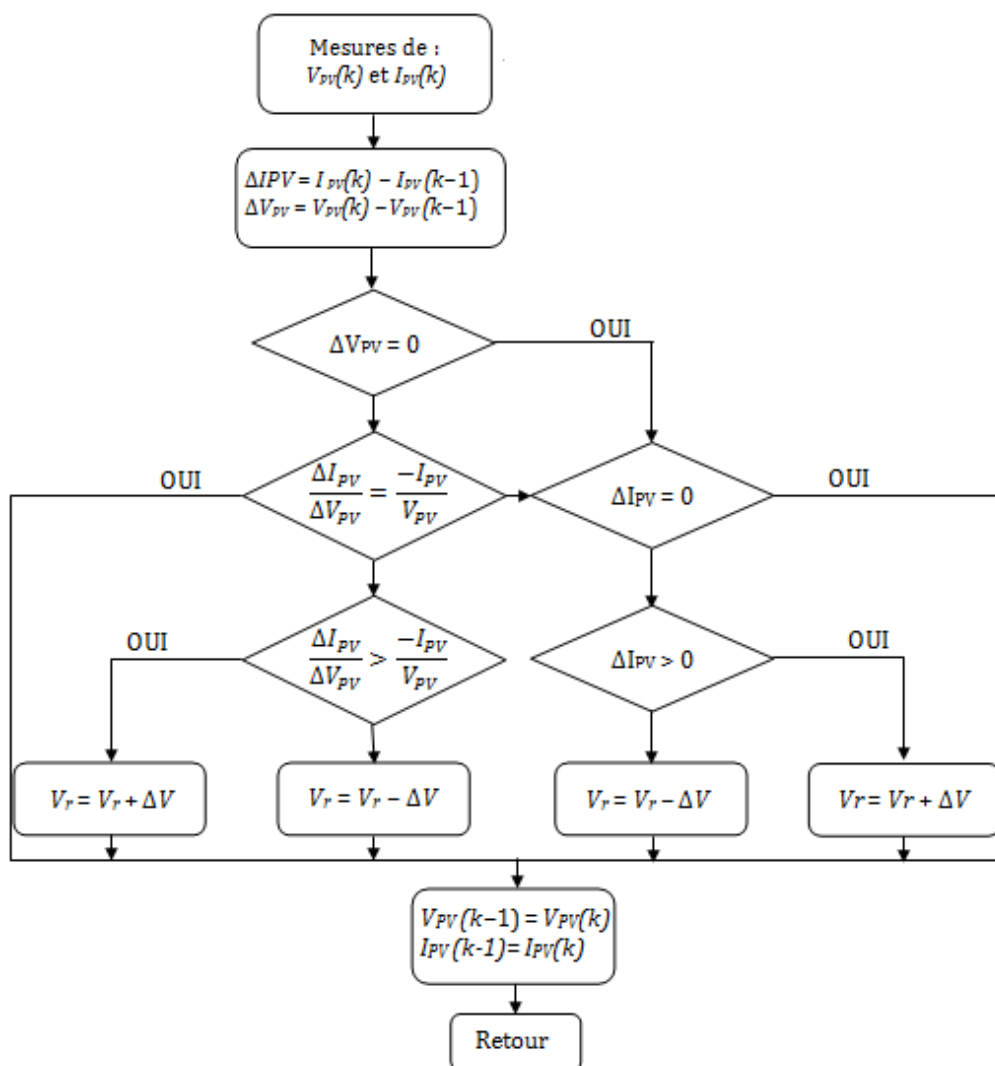


Figure III.8: Algorithme d'une commande MPPT basée sur la méthode
Incrément de conductance. [37]

III.4 Modélisation de la machine asynchrone

Le moteur asynchrone monophasé ou bien « moteur à induction » est largement utilisé dans les applications domestiques (machine à laver, ventilateur,...) et industrielle (entraînement des pompes, conditionneurs d'air...). Le moteur monophasé est alimenté par un réseau alternatif monophasé. Les circuits magnétiques statoriques et rotoriques ainsi que la cage du moteur sont identiques à ceux du moteur polyphasé. [39]

L'induction monophasée motrice peut être considérée comme un moteur biphasé dissymétrique machine. L'analyse de telles machines peut être commodément gérée par l'approche du modèle d-q normal utilisé pour les machines triphasées. Détails de la dérivation du modèle d-q sont décrits dans. Si toutes les q quantités se réfèrent à l'enroulement principal et toutes les quantités d sont par rapport à l'enroulement auxiliaire et à toutes les grandeurs rotoriques sont référencés côté stator. [40]

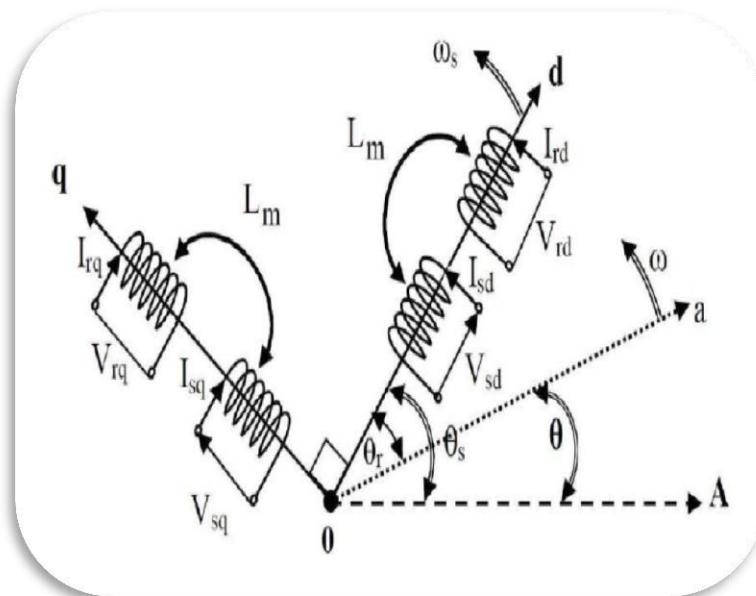


Figure III.9 : Représentation schématique d'une machine asynchrone biphasée

Les équations de tension peuvent être exprimées comme suit

$$\left. \begin{aligned} V_{sd} &= R_{sd} i_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} \\ V_{sq} &= R_q i_{sq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + V_c \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.5)}$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= R_r \dot{i}_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \varphi_{rq} \\ 0 &= R_r \dot{i}_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} - \omega_r \varphi_{rd} \\ \dot{i}_{sq} &= \dot{i}_c = C \frac{dV_c}{dt} = \frac{dq}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (III.5)$$

Les indices "s" et "r" indiquent les grandeurs du stator et du rotor respectivement.

Dans ce qui suit, nous allons choisir les courants du stator et les flux du rotor comme variables d'état, les tensions du stator comme variables de commande [41]

$$X = [\dot{i}_{sd} \dot{i}_{sq} \varphi_{rd} \varphi_{rq}]^t; \text{ et } Y = \Omega_r \quad (III.6)$$

Les expressions des flux en fonctions des courants statoriques et rotoriques sont

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{sd} &= L_{sd} \dot{i}_{sd} + M_d \cdot \dot{i}_{rd} \\ \varphi_{sq} &= L_{sq} \dot{i}_{sq} + M_q \cdot \dot{i}_{rq} \\ \varphi_{rd} &= L_{rd} \dot{i}_{rd} + M_d \cdot \dot{i}_{sd} \\ \varphi_{rq} &= L_{rq} \dot{i}_{rq} + M_q \cdot \dot{i}_{sq} \end{aligned} \right\} \quad (III.7)$$

M_d et M_q sont les mutuelles inductances maximales

En prenant $L_{rd} = L_{rq} = L_r$ (deux phases symétriques au rotor) ce qui est d'ailleurs toujours le cas dans un moteur à cage d'écureuil. Comme les courants rotoriques sont inaccessibles pour la mesure, il faut les exprimer en fonction des flux rotoriques et courants statoriques

$$\left. \begin{aligned} V_{sd} &= R_{sd} \dot{i}_{sd} + \frac{M_d}{L_r} \cdot \frac{d\varphi_{rd}}{dt} + \left(L_{sd} \frac{M^2 d}{L_r} \right) \cdot \frac{d\dot{i}_{sd}}{dt} \\ V_{sq} - V_c &= R_{sd} \dot{i}_{sq} + \frac{M_q}{L_r} \cdot \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \left(L_{sq} \frac{M^2 dq}{L_r} \right) \cdot \frac{d\dot{i}_{sq}}{dt} \\ 0 &= \frac{R_r}{L_r} \varphi_{rd} \frac{R_r}{L_r} M_d \cdot \dot{i}_{sd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \varphi_{rq} \\ 0 &= \frac{R_r}{L_r} \varphi_{rq} \frac{R_r}{L_r} M_q \cdot \dot{i}_{sq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} - \omega_r \varphi_{rd} \\ \dot{i}_{sq} &= \dot{i}_c = C \frac{dV_c}{dt} = \frac{dq}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (III.8)$$

Le couple électromagnétique développé par la machine est donné par l'expression Suivante :

$$T = P_m \cdot I_m (\dot{i}_r^- \cdot \varphi_r^-) \quad (III.9)$$

$$\varphi_r^- = \varphi_{rd} + j\varphi_{rq} \quad (III.10)$$

De l'expression (III.20), et avec l'utilisation des équations (III.8) on déduit l'expression finale du couple électromagnétique : [41]

$$T_e = (M_d \varphi_{rq} \dot{i}_{sd} - M_q \varphi_{rd} \dot{i}_{sq}) \quad (\text{III.11})$$

III.4.1 Commande scalaire d'une machine à induction monophasé (V/f)

Cette méthode de commande, la plus ancienne, équipe un grand nombre des variateurs à dynamique relativement lente et ne nécessitant pas de fonctionnement à très basse vitesse avec fort couple par exemple le ventilateur, le compresseur, climatiseur et la pompe ou des performances dynamiques très élevés. [42]

Le principe de cette commande est fondé sur la modélisation en régime permanent du moteur à induction, pour avoir les meilleures réponses surtout ce qui concerne le couple et la vitesse.

Le contrôle de couple et de la vitesse de la machine asynchrone nécessite le contrôle de son flux magnétique, plusieurs commandes scalaires existent selon que l'on agit sur le courant ou sur la tension elles dépendent surtout de la topologie de l'actionneur utilisé (onduleur de tension ou de Courant). L'onduleur de tension étant maintenant le plus utilisé en petite et moyenne Puissance, c'est la commande en V/f qui est la plus utilisée.

Cette commande est basée sur le modèle de la machine asynchrone en régime permanent (modèle électromagnétique).

La commande scalaire V/f reste encore utilisée dans l'industrie grâce à sa configuration simple et leur simplicité de mise en œuvre. [42]

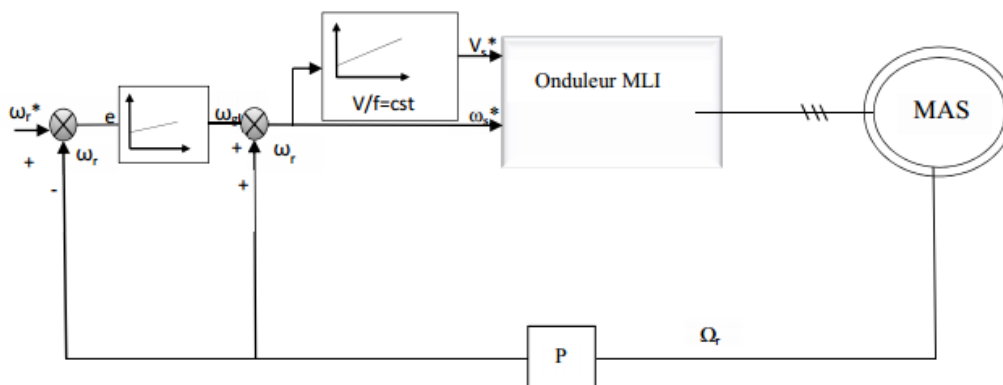


Figure III.10 : Schéma classique de commande scalaire.

III.5 Modélisation de la pompe

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge met en jeu trois paramètres, la hauteur Manométrique, le débit et la vitesse. La hauteur de pompage est la somme de la hauteur statique et la hauteur dynamique Dans cette application. La puissance hydraulique de la pompe centrifuge est donnée Par : [43]

$$P_h = R_{mp} \cdot P_{ele} = \rho \cdot g \cdot HMT \cdot Q \quad (III.12)$$

Avec :

P_h : Puissance communiquée au fluide par la pompe (W)

P_{ele} : Puissance électrique du moteur asynchrone (W)

R_{mp} : Rendement du groupe motopompe (%)

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

ρ : Masse volumique de l'eau (1000 Kg/m³)

H : Hauteur manométrique totale que doit convaincre la pompe (m)

Q : Débit volumique (m³/s)

La pompe centrifuge oppose un couple résistant C_r .

$$C_r = K_r \Omega^2 \quad (III.13)$$

Où :

Ω : Vitesse du moteur asynchrone (rad/s).

Avec K_r un coefficient de proportionnalité [(Nm/ (rad.s-1)²] qui est exprimé par l'équation suivante :

$$K_r = \frac{P_n}{\Omega_n^3} \quad (III.14)$$

P_n : Puissance nominale du moteur asynchrone (W).

Ω_n : Vitesse nominale du moteur asynchrone (rad/s).

III.6 Simulation et interprétation

Dans cette partie nous allons effectuer la simulation d'un générateur PV qui alimentant le système de pompage photovoltaïque

Ce système est composé d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur élévateur (Boost) DC-DC avec la commande de rapport cyclique assuré par la technique MPPT-P&O « perturbation et observation »,

ainsi qu'un onduleur de tension connecté avec la machine asynchrone, alimentant une pompe centrifuge pour pomper l'eau de deux réservoirs (réservoir de haute et réservoir de bas). Cette simulation a été effectuée sous le logiciel MATLAB/Simulink.

III.6.1 Le Système de pompage Photovoltaïque proposé

En général, les systèmes de pompes à eau solaires standard comprennent un groupe motopompe, un réservoir de stockage d'eau, un contrôleur, un réseau photovoltaïque (PV), une forme de structure de montage, un système de suivi (automatique ou manuel). Les modules PV peuvent être reliés en parallèle et en série pour faire fonctionner des sous-systèmes pompe-moteur. Ces systèmes ont besoin d'énergie pour générer le débit et la pression d'eau requis. Les panneaux photovoltaïques se connectent aux liaisons via un convertisseur élévateur DC/DC afin de permettre le contrôle du suivi du point de puissance maximale (MPPT), tandis que les onduleurs à source de tension monophasée sont utilisés pour maintenir les tensions de liaison DC.

En appliquant la tension de sortie du convertisseur élévateur à l'entrée de l'onduleur, une tension alternative d'amplitude de 231 V, La figure suivant présent le schéma synoptique de notre système de pompage photovoltaïque dans un procès Aéroponique.

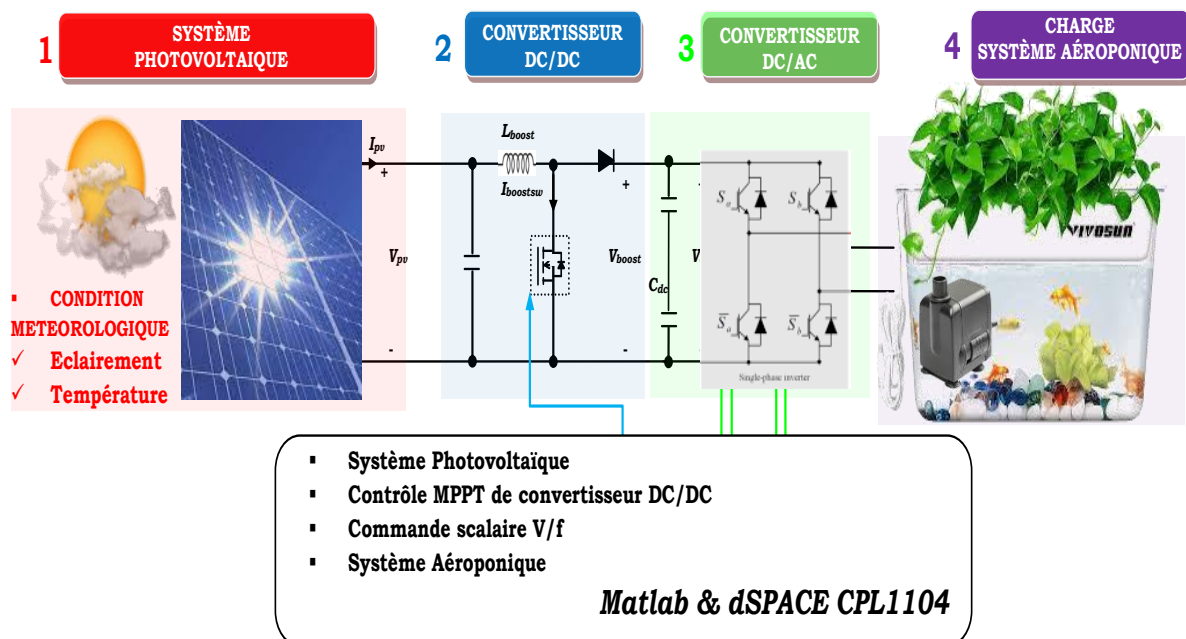


Figure III.11 : Schéma synoptique de système de control d'un système photovoltaïque d'aéroponique

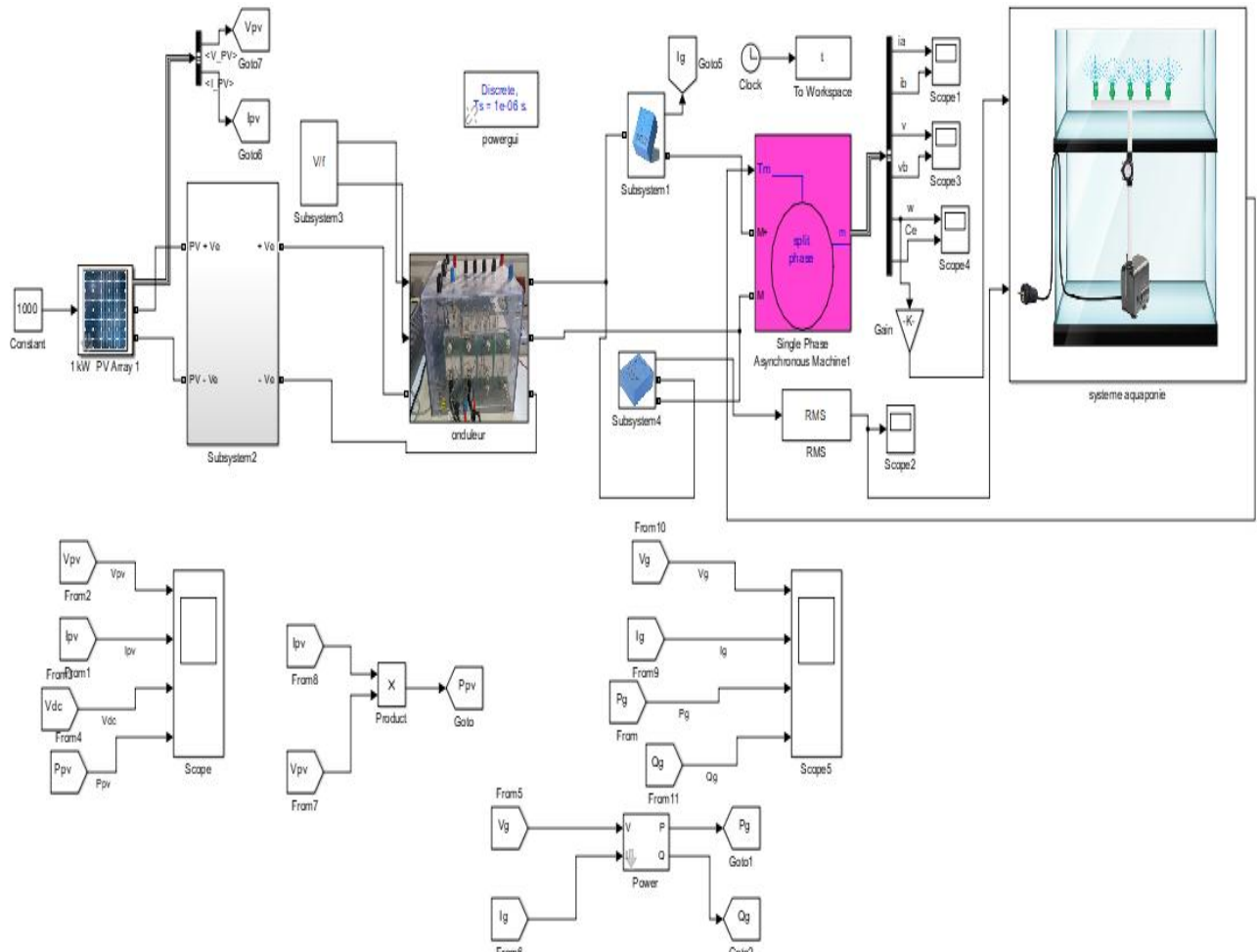


Figure III.12 : schéma bloc de système de control d'un système photovoltaïque d'aéroponique

III.6.1.1 Partie 1 et 2: Générateur photovoltaïque hacheur élévateur « Boost » contrôlé par l'algorithme (P&O)

Notre générateur photovoltaïque (GPV) est composé de deux panneaux photovoltaïques connectés en série et deux en parallèle. Les allures de la puissance PV, de la tension et du courant dans les conditions stc ($G=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$) sont représentées sur les figures ci-dessous

1 **SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE**

2 **CONVERTISSEUR DC/DC**

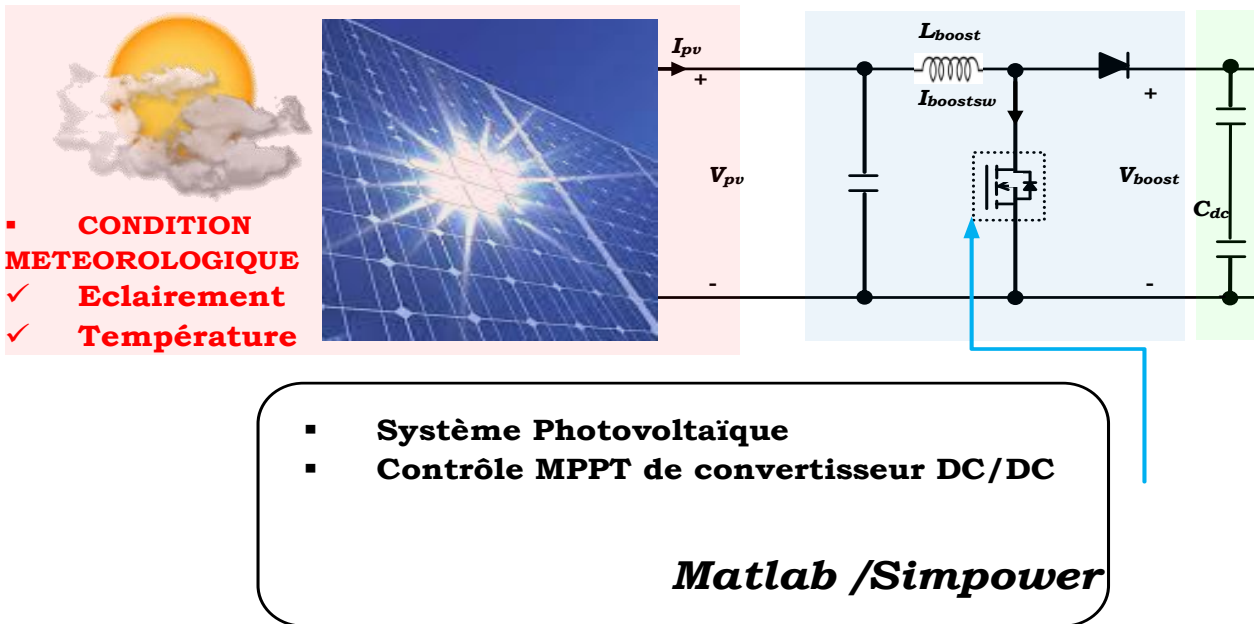


Figure III.13 : Schéma bloc d'un Générateur photovoltaïque connecté à un hacheur élévateur « Boost » contrôlé par l'algorithme (P&O).

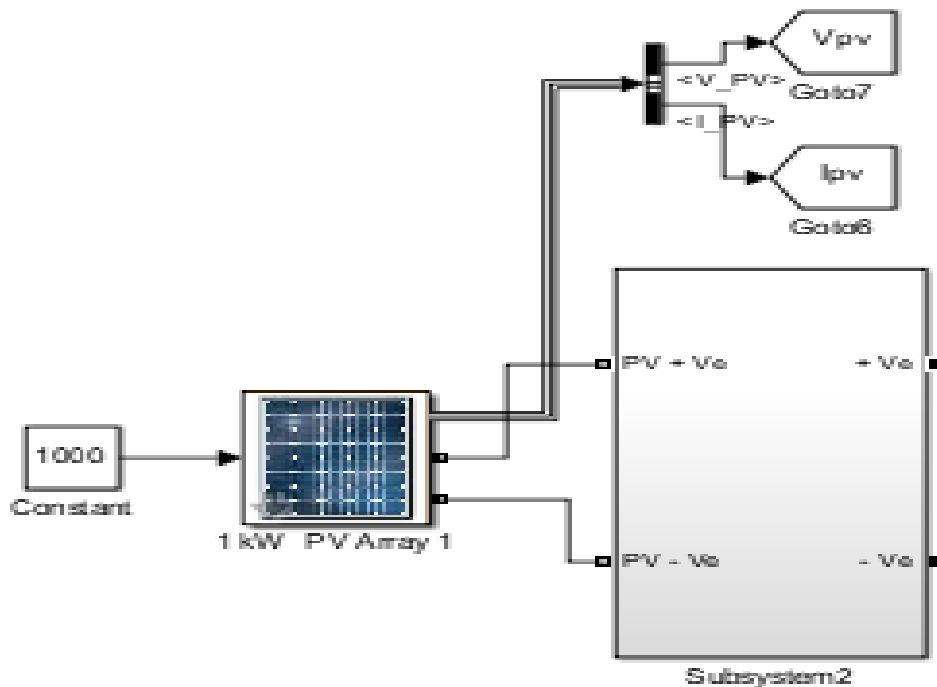


Figure III.14 : Schéma bloc d'un Générateur photovoltaïque connecté à un hacheur élévateur « Boost » contrôlé par l'algorithme (P&O).

a) Résultats et interprétation de la simulation

- La caractéristique Courant-Tension (I-V) et Puissance –Tension P-V) :

La figure (III.15) représente la caractéristique courant-tension, et comme illustré elle décrit le comportement du module photovoltaïque dans des conditions météorologique (niveau d'éclairement et température ambiante. peuvent être divisées en deux segments ou zones séparés par le coude de la courbe (emplacement MPP). Est le segment de tension constante et l'autre est le segment de courant constant. On voit que cette caractéristique est bien similaire à celle présenté dans la partie théorique.

Ainsi illustre les caractéristiques puissance-tension (P-V). Cela montre qu'il existe une linéarité proportionnalité, des coordonnées zéro jusqu'à l'emplacement du MPP, puis toute augmentation de la tension suivie d'une diminution de la puissance pour atteindre sa valeur nulle à OC. Cette figure confirme le comportement attendu du système qui consiste de convertir l'énergie solaire en une énergie électrique.

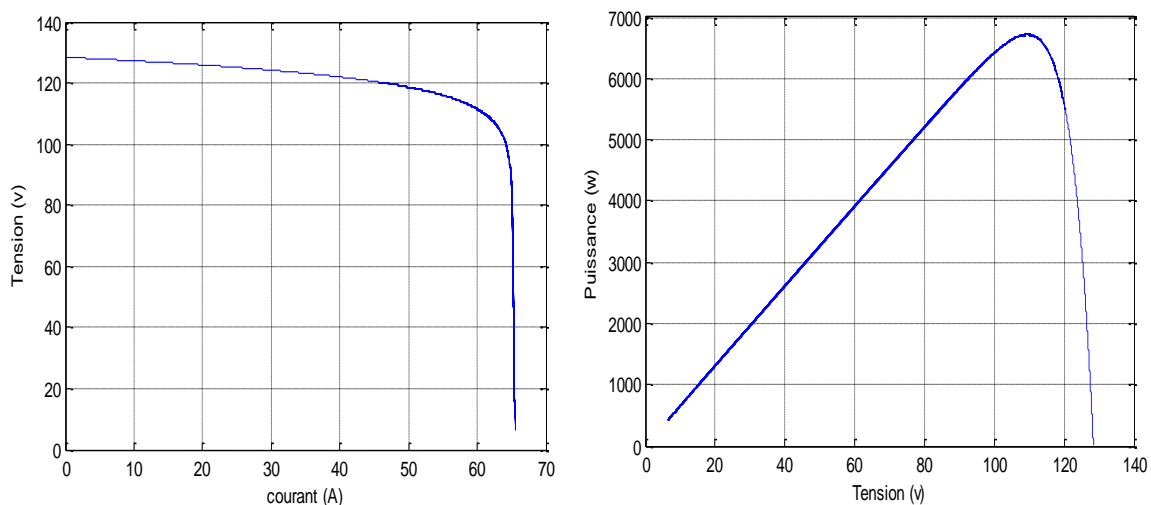


Figure III.15 : Caractéristique (I-V), (P-V)

- Influence de l'éclairement des caractéristiques (I-V) (P-V) :

La figure (III.16) présente les caractéristiques (I-V) et (P-V) d'un module photovoltaïque pour différents ensoleillements à la température fixe. Comme on peut voir sur la figure, le courant et la puissance du module est proportionnel à l'ensoleillement, tandis que la tension de circuit-ouvert change légèrement avec l'ensoleillement

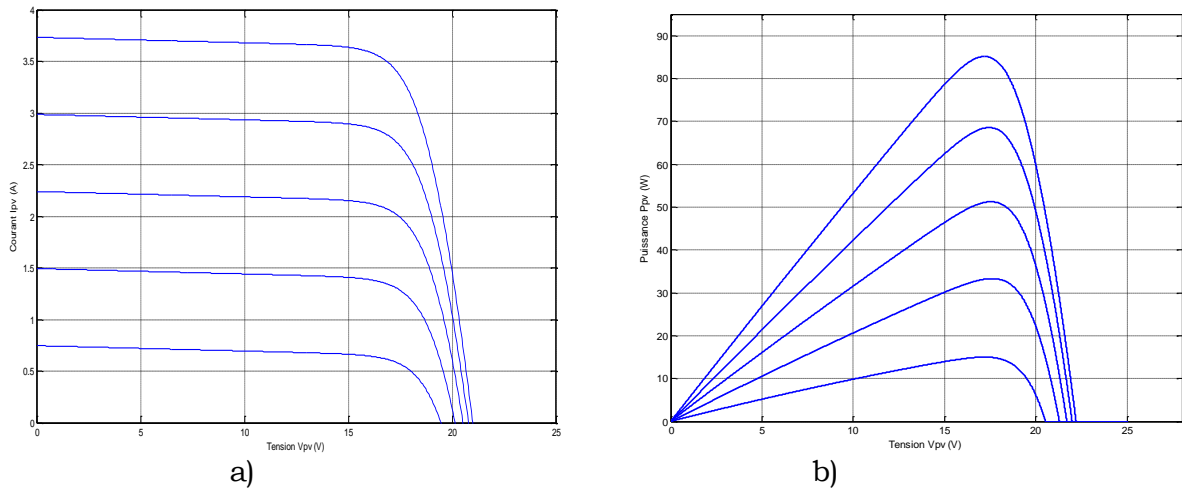


Figure III.16 : Représente l'effet de l'éclairement des caractéristiques (I-V) (P-V)

a) Caractéristique courant-tension (I-V)

b) Caractéristique puissance-tension (P-V)

Ces figures représentent la tension, la puissance, le courant générés par le générateur et la tension de sortie du convertisseur DC-DC (Vdc)

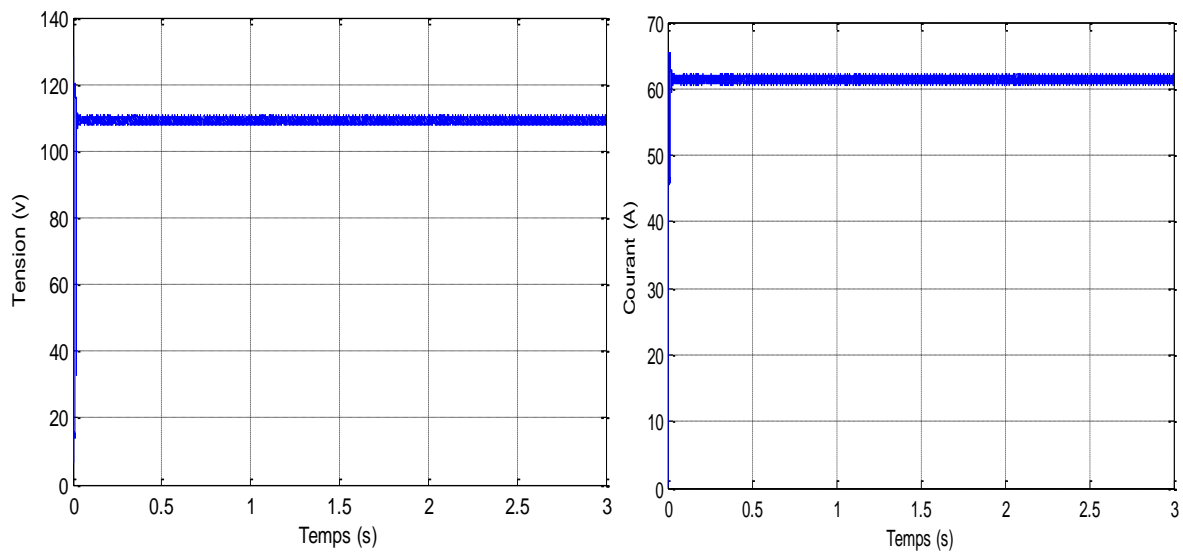


Figure III.17 : Tension (Vpv) et courant (Ipv) du générateur photovoltaïque

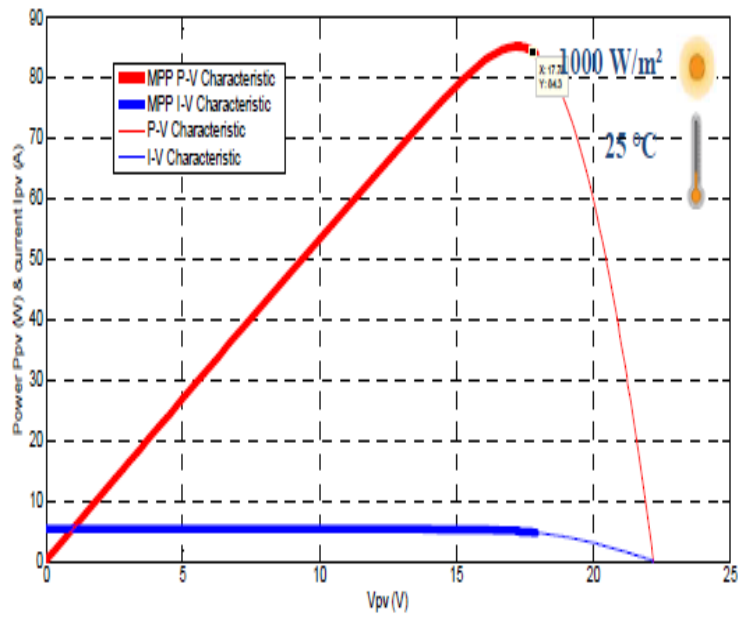


Figure III.18 : Caractéristique P-V et I-V du générateur photovoltaïque

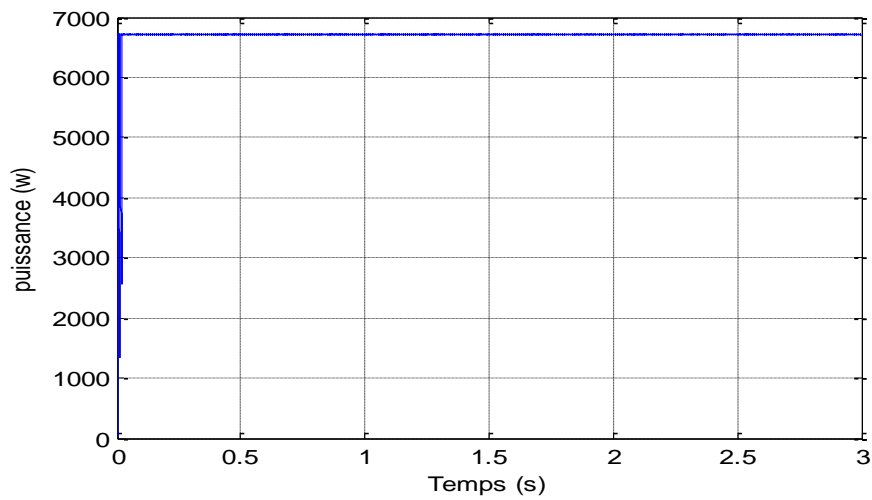


Figure III.19 : Puissance du générateur photovoltaïque (P_{pv})

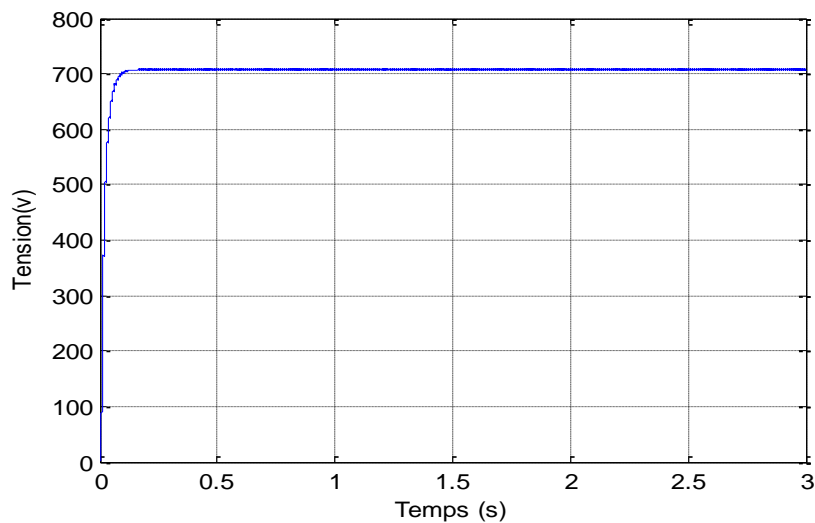


Figure III.20 : Tension de sortie du convertisseur DC-DC (Vdc)

D'après les figures (III.17.18.19.20) qui représentent (la tension de GPV, le courant, la puissance et la tension de convertisseur(Vdc)), pour un éclairement constant de 1000 W/m^2 et une température de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, les résultats typiques de simulation, des caractéristiques électriques à la sortie du panneau et à la sortie du hacheur de type Boost contrôlé par la commande MPPT (P&O). Il apparaît que

Après un régime transitoire, la commande MPPT fait osciller le point de fonctionnement autour du point du PPM, on trouve une puissance de 6800 W , avec une tension optimale de 110 V et un courant optimal de 60 A .

- On remarque que la tension à la sortie du convertisseur (Vdc) est environ six fois supérieure à celle de la sortie du panneau (Vpv) et cela grâce au hacheur Boost qui a le rôle d'élever la tension tout en gardant la même puissance.

III.6.1.2 Partie 3 : contrôle d'un moteur asynchrone monophasé « pompe immergé »

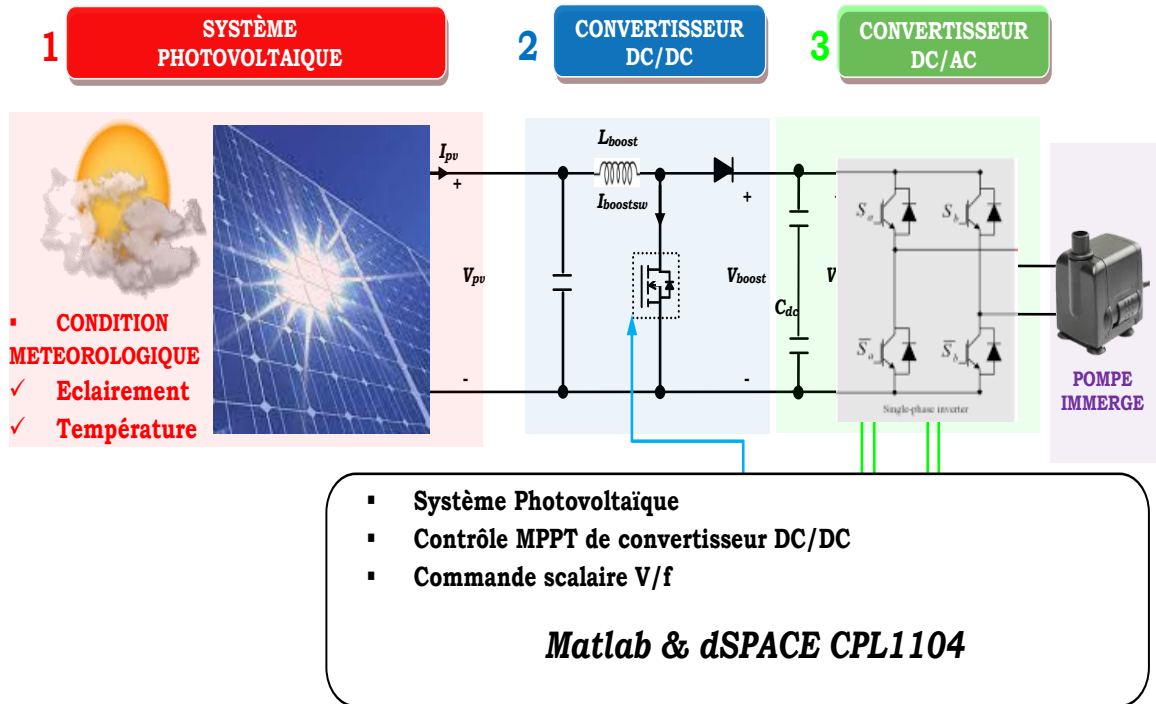


Figure III.21 : Schéma bloc de système de contrôle du moteur monophasé (Pompe immergé)

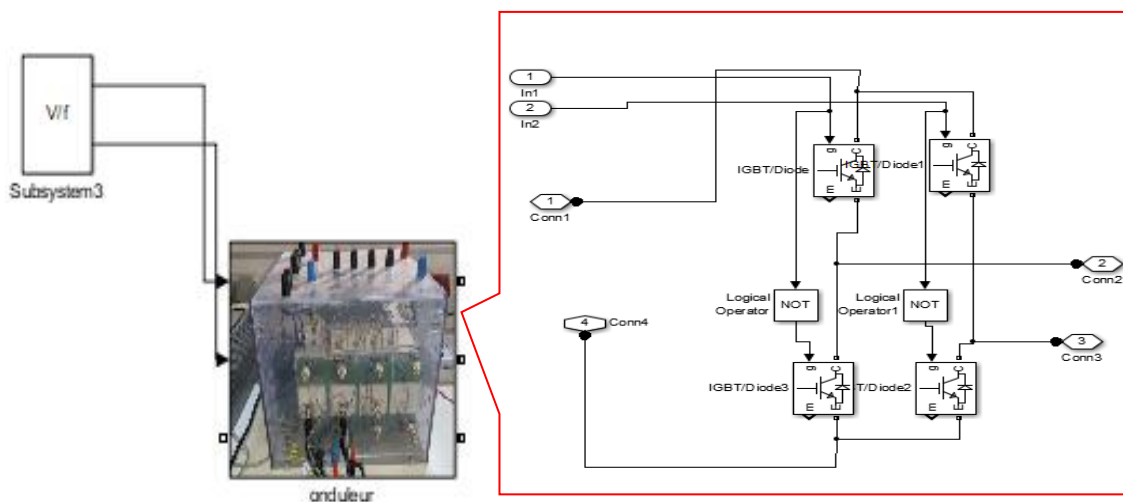


Figure III.22 : Schéma bloc de l'onduleur monophasé avec la technique V/f

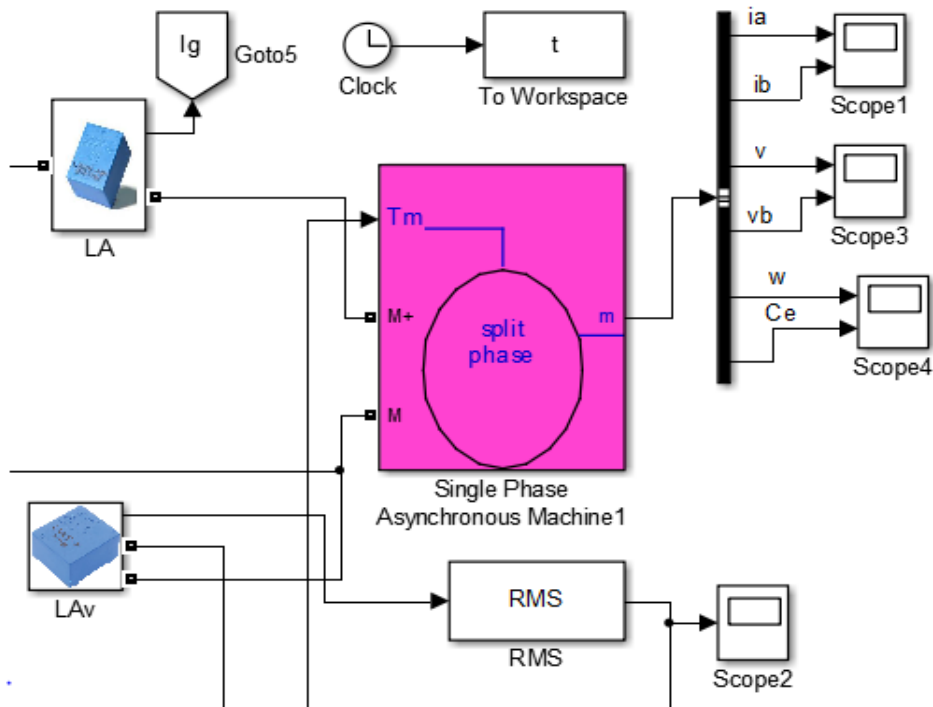


Figure III.23 : schéma bloc de la MAS monophasé

a) Résultats et interprétation de la simulation

Les figures(III.24.25.24) représentent la vitesse rotorique, le couple électromagnétique, et le courant rotorique, On va voir :

La vitesse, le couple et le courant de sortie du moteur indiquent clairement qu'il est très approprié pour le système de pompage à courant alternatif.

La figure (III.24) montre la vitesse réelle du rotor du moteur. Sur la figure, on peut voir que le moteur s'est stabilisé à 157 rad/s puis est descendu à 144 157 rad/s à l'instant $t=2.4s$, puis il est revenu et s'est stabilisé à 152 rad/s.

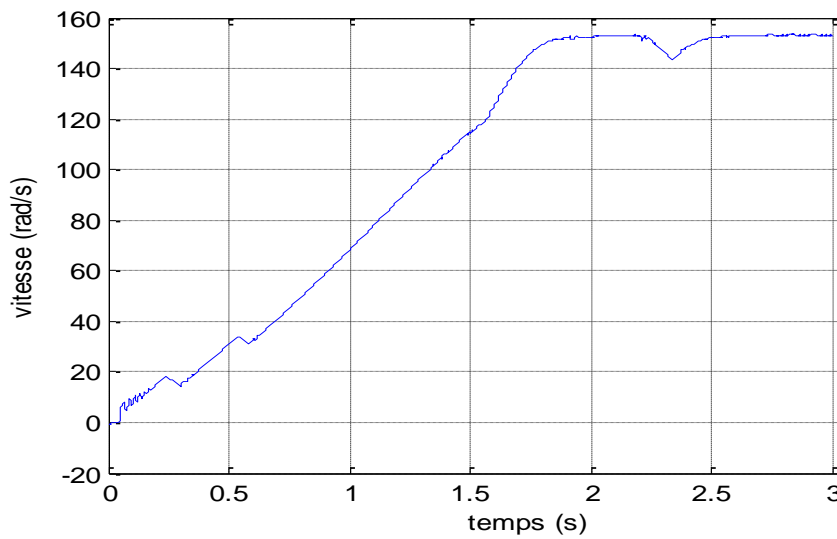


Figure III.24 : représente la vitesse de moteur

La figure (III.25) montre le courant du moteur du rotor [A] pendant trois secondes. Sur la figure, on peut voir que la vitesse du moteur fait varier le courant jusqu'à ce qu'il atteigne un courant de régime permanent.

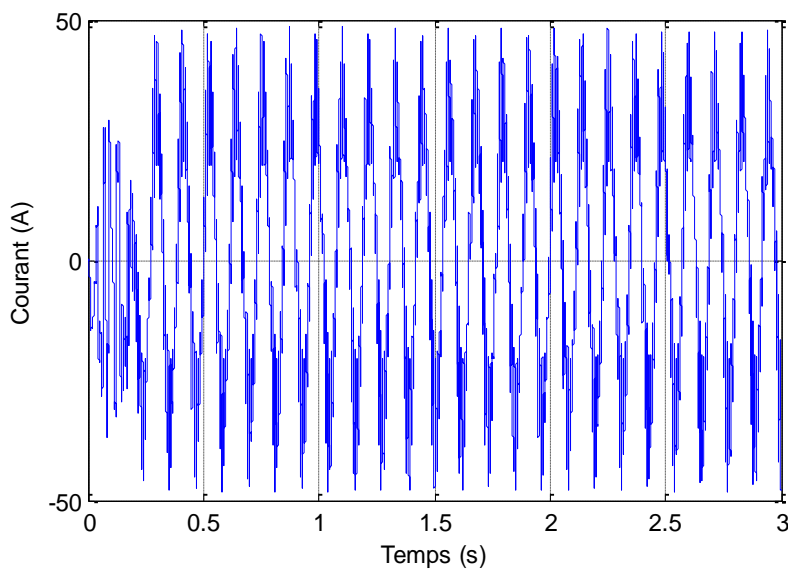


Figure III.25 : représente le courant de moteur

La figure (III.26) illustre la réponse de couple électromagnétique [N-m] en fonction du temps. Le couple total de moteur selon la figure varie entre 15 et 18 [N-m].

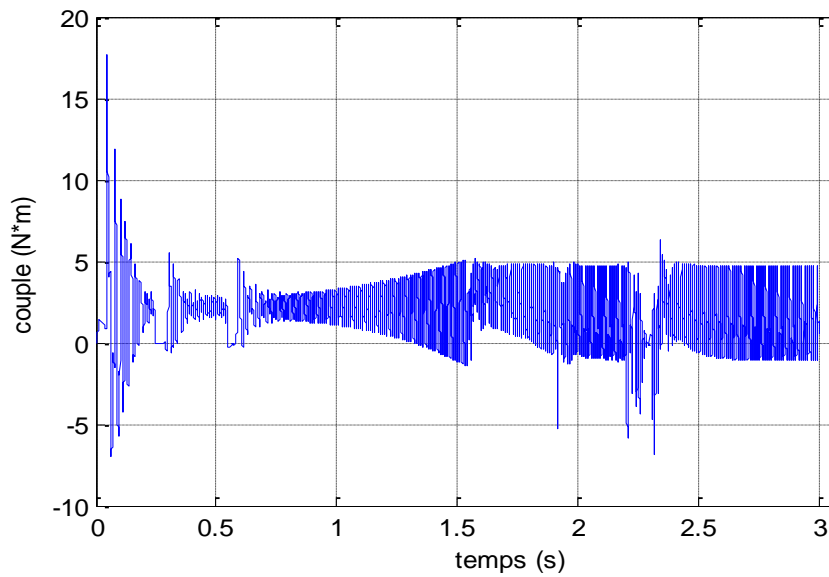


Figure III.26 : représente le couple de moteur

III.6.1.3 Partie 4: la charge « Système d'aéroponique photovoltaïque »

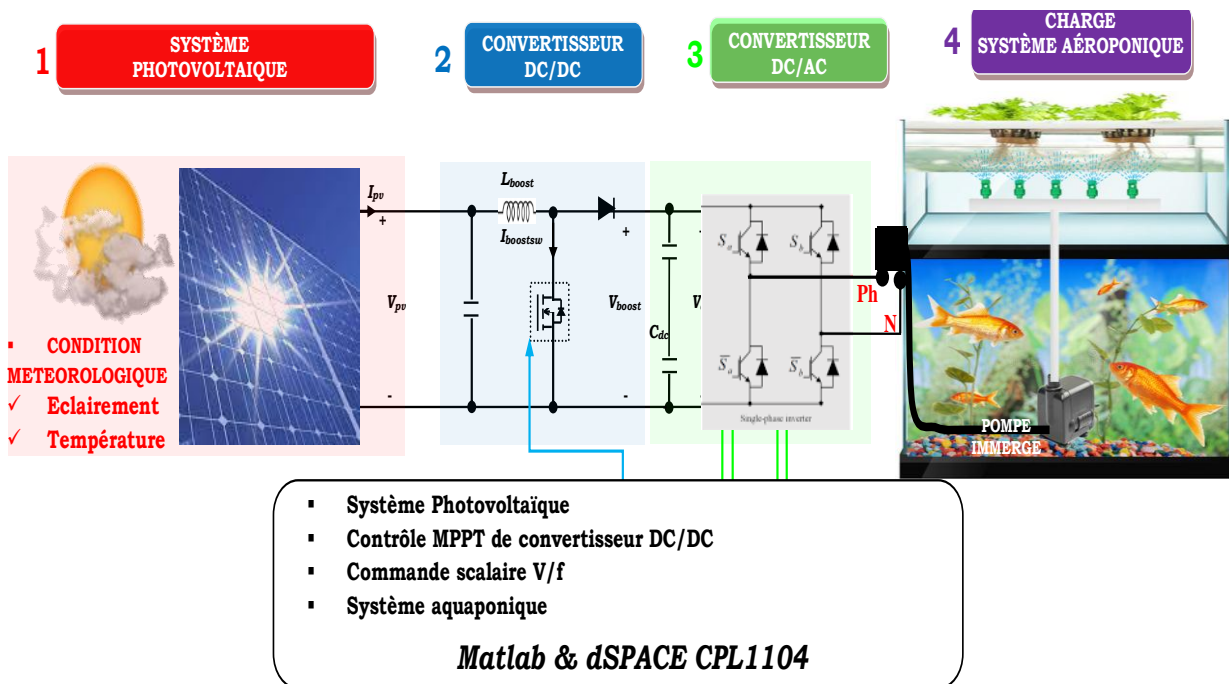


Figure III.27 : Schéma synoptique de système de contrôle d'un système d'aéroponique photovoltaïque

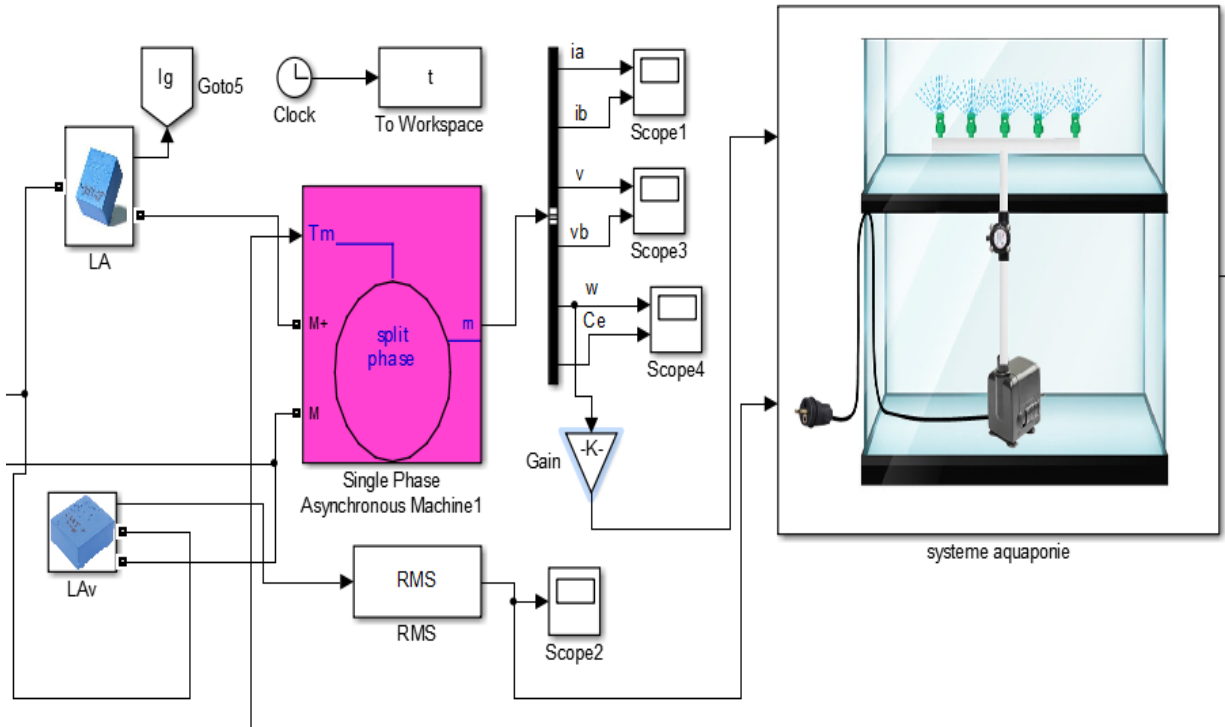


Figure III.28 : Schéma bloc de la pompe centrifuge avec deux réservoirs hauts (plateau de culture) et bas (aquarium de poisson) connecté avec la MAS monophasé

a) Résultats et interprétation de la simulation

Les figures(III.29.30.31.32) représentent la vitesse de la pompe, le couple, et le courant de la pompe, On va voir :

- La figure (III.29) montre la vitesse de la pompe. Sur la figure, on peut voir que la pompe s'est stabilisée à 160 tr/min

➤ nous remarquons que :

La Vitesse du moteur [rad/sec] par rapport à la vitesse de la pompe [rad/sec], avec les résultats indiquent un accord complet à l'exception d'un certain isolement dû à effet inertiel de la pompe.

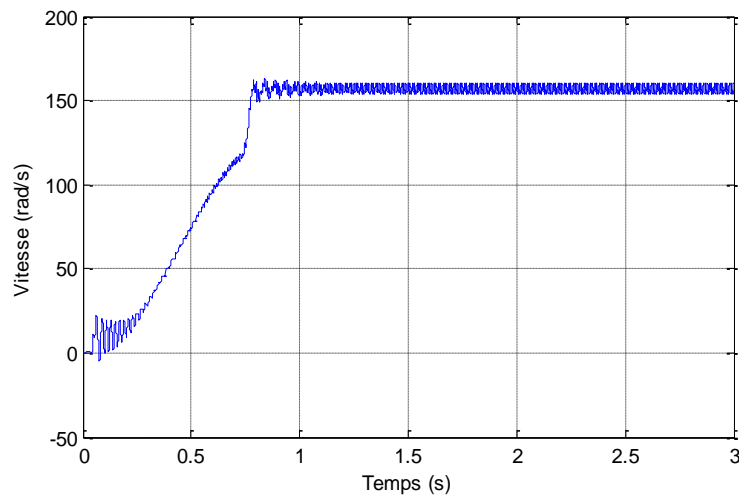


Figure III.29 : représente la vitesse de pompe

- La figure (III.30) montre le courant de la pompe pendant trois secondes. Sur la figure, on peut voir que la vitesse de la pompe fait varier le courant jusqu'à ce qu'il atteigne un courant d'état stable, qui commence à une valeur très élevée (22A), puis diminue à (0A).

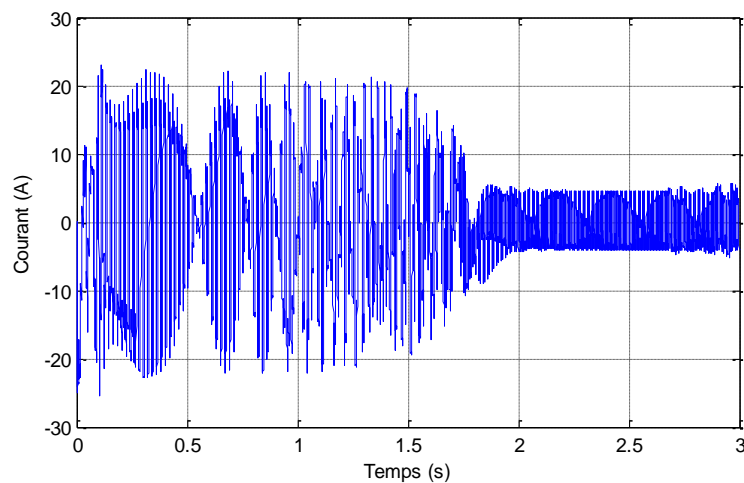


Figure III.30 : représente le courant de pompe

- La figure (III.31) montre le couple de la pompe [N-m] en fonction du temps, en sec. Le couple total de la pompe commence à 90 [N-m] puis diminue à 0 [N-m].

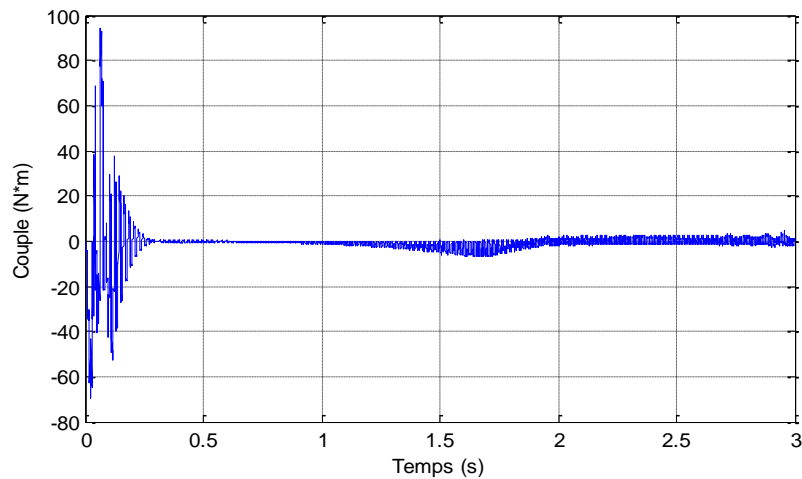


Figure III.31 : représente le couple de pompe

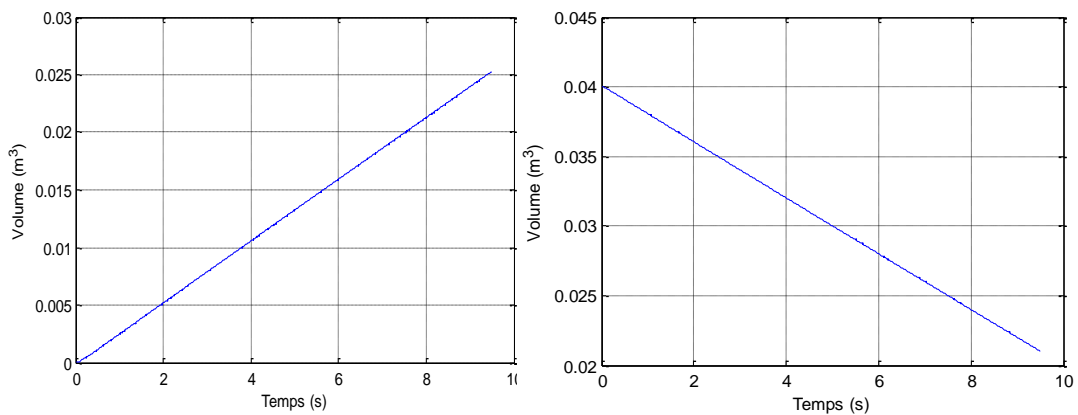


Figure III.32 : représente Les réservoirs haute et bas

La figure (III.33) montre la pression de la pompe en fonction du temps, en sec On remarque que la pression semblait être à un rythme important estimé à 1500(Pa) et cela est dû au fonctionnement de la pompe grâce a le couple, puis elle a progressivement diminué jusqu'à en une 0.5s elle s'est fixée à 300(Pa), grâce l'influence de la variation de la fréquence.

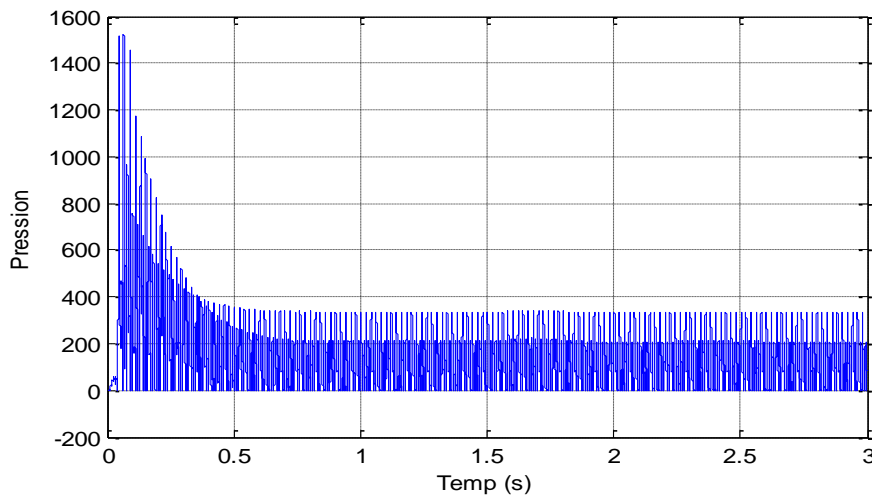


Figure III.33 : représente la pression de la pompe centrifuge

Le travail simulé examine la possibilité d'utiliser une cellule PV pour alimenter un moteur à induction monophasé via un onduleur monophasé. Le système expliqué ici est un système PV pour le pompage de l'eau, utilisant une seule phase onduleur et moteur à induction monophasé.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait l'étude d'un convertisseur DC-DC de type (BOOST, BUCK) et aussi on a présenté les méthodes MPPT basées sur contre réaction de puissance, comme les deux méthodes classiques (PO et IC). Cette commande MPPT utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale, ensuite nous avons présenté un aperçu sur les convertisseurs DC-AC (monophasé). Nous présenterons les équations caractérisant et les modèles mathématiques qui seront utilisés pour modéliser les différentes parties de groupe Motopompe (moteur asynchrone monophasé et la pompe centrifuge).

Nous avons conclu ce chapitre avec une simulation sous Matlab/Simulink qui illustre ce que nous avons appris sur le système de pompage photovoltaïque

CHAPITRE 0 4

**CONCEPTION ET RÉALISATION NOTRE
PROJET DE SYSTÈME DE POMPAGE
PHOTOVOLTAÏQUE POUR UN SYSTÈME
AQUAPONIQUE**

IV.1 Introduction

De nos jours l'innovation se traduit surtout par des nouvelles techniques de communication, ou des solutions au problème environnemental général. Nous avons voulu faire un projet plus concert et accessible à tous. Vivant dans un milieu ou la surabondance alimentaire et omniprésente, nous avons voulu explorer des solutions simples mais efficaces pour une meilleure gestion des ressources .Nous savions que l'aquaponie existait déjà en milieu industriel mais pouvions-nous la rendre accessible à tous ? Nous nous somme posé comme défi de concevoir un système d'aquaponie à petite échelle pour une utilisation domestique

- La première partie nous avons essayé de réaliser une plateforme pour la commande de l'onduleur pour alimenter notre pompe en temps réel, avec Présentation du système expérimental, et les résultats obtenue pour une commande v/f du l'onduleur sur Matlab/Simulink qu'il doit être compatible avec la carte dSPACE pour la validation de la méthode en temps réel Desk
- La Deuxième partie sur réalisations et fabrications de notre système aquaponique, grâce à l'étude que nous avons réalisée dans le premier chapitre, nous avons présenté une partie de ce que nous avons étudié dans notre projet (choix d'aquarium, de bac de culture, siphonnes, poissons, plantes, filtrage de l'eau...)

- Le banc d'essai de notre projet :



Figure IV.1 : le banc d'essai expérimental de notre projet

IV.2 Premier partie : Méthodes et matérielle de contrôle notre projet

Le but de cette partie est de développé des méthodes de commande pour contrôler les bras de l'onduleur Pour contrôler la tension et le courant de la pompe.

IV.2.1 La commande Pulse Width Modulation (PWM)

La commande par Modulation par Largeur d'impulsion (PWM) est une commande classique, consiste à faire varier la valeur efficace de la tension à la sortie de l'onduleur par la largeur d'impulsion. Le principe est de comparer un signal triangulaire appelé porteuse qui détermine la période de découpage à des signaux modulant dont les fondamentaux représentent la fréquence des courants statoriques. Les résultats de cette comparaison sont les signaux MLI qui sont utilisés comme fonction de commutation pour

commander les interrupteurs de l'onduleur. Cette méthode permet d'obtenir, de façon simple, les temps de conduction de chaque transistor. Nous avons choisi la technique PWM SCLAIRE car cette technique donne des performances meilleures par rapport à d'autres techniques PWM. [43]

IV.2.2 Technique PWM scalaire

Le contrôle de vitesse le plus simple, dit en "V sur f", permet de varier la vitesse de la machine sur une large plage. C'est un contrôle scalaire. Les équations de la machine qui permettent de calculer le couple et de prévoir les points de fonctionnement sont basés sur le modèle "régime permanent" de la machine. [98] Il est cependant facile à implanter puisqu'il ne requiert plus de puissance de calcul en temps réel de la part de l'organe de commande (micro- contrôleur, DSP Digital Signal Processor).

Plusieurs commandes scalaires existent selon que l'on agit sur le courant ou sur la tension. Elles dépendent surtout de la topologie de l'actionneur utilisé (onduleur de tension ou de courant). L'onduleur de tension étant maintenant le plus utilisé en petite et moyenne puissance, c'est la commande en V/f (V sur f) qui est la plus utilisée. Son principe est de maintenir $V/f = \text{Constant}$ ce qui signifie garder le flux constant. Le contrôle du couple se fait par l'action sur le glissement porteuse qui détermine la période de découpage à des signaux modulants dont les fondamentaux. [44]

IV.2.2.1 Stratégies de Commande V / f en boucle ouverte

Les moteurs à courant alternatif sont souvent exploités en boucle ouverte sans retour de la vitesse ou de la position. Le rapport V / f est maintenu constant pour fournir un couple max sur la plage de fonctionnement. Cette forme de contrôle est relativement peu coûteuse et facile à mettre en œuvre. Le fonctionnement d'un de la commande en boucle ouverte est régi par deux principes:

- La Vitesse à vide est directement proportionnelle à l' fréquence du courant alternatif appliqué au stator et le nombre de pôles du moteur.
- Le Couple est directement proportionnel au rapport de la tension appliquée et la fréquence du Courant alternatif.

Par conséquent, la vitesse peut être contrôlée en faisant varier l'entrée fréquence du courant alternatif appliqué et le couple peut être maintenu constant en faisant varier l'amplitude de la tension linéairement à la fréquence .Ce sont les deux objectifs fondamentaux du contrôle en boucle ouverte V / f constant. [99]

IV.2.3 Description du système de la commande v/f

Le système de commande expérimental se compose :

- La partie de commande, constituée (alimentations AC et DC variable, Système de contrôle dSPACE DS1104 desk, Matlab/Simulink).
- La partie de puissance (onduleur de tension a deux niveaux, Rhéostat) Système de contrôle dSPACE DS1104 desk, Matlab/Simulink.
- La partie mesure consiste (capteur de courant et de tension, capteur d'adaptations et capteur de débit d'eau).

IV.2.3.1 La partie de commande

a) Alimentations DC

Alimentations portatives avec deux tensions continues variables 0-230V



Figure IV.2 : alimentations DC

a) Carte de contrôle dSPACE DS1104 R&D :

Le système de dSPACE basé sur la recherche et développement DS1104 « DS1104 R&D », la carte DS1104 R&D est logée dans le Bus ISA du PC. C'est un système complet de contrôle en temps réel basé sur un processeur à virgule flottante « PowerPC 604 » fonctionné à 250 MHz est travaillant en tant que maître figure.

La carte DS 1104 dispose d'une interface soft « Control Desk ». Celui-ci, gère les composants temps réel « RTI : **R**eal **T**ime **I**nterface » sous l'environnement MATLAB/Simulink via un Panneau de connexion « Entrée/Sortie des signaux ». [98]

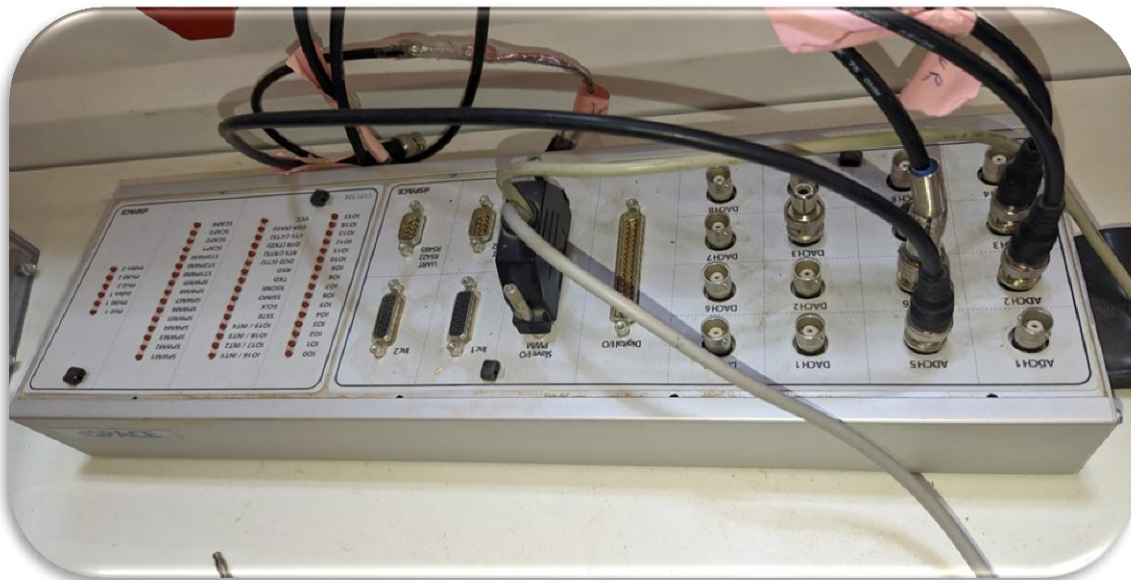


Figure IV.3 : dSPACE DS1104 R&D

IV.2.3.2 La partie de puissance

a) Onduleur de tension a deux niveaux

L'onduleur utilisé est un montage didactique à IGBT se présente sous la forme d'un ensemble de puissance, protégé par un capot protecteur en PVC transparent figure. II. Sur ce capot disposé les connecteurs de puissance (jusqu'à 30A) type « banane », et les connecteurs BNC pour les commandes et le retour des messages d'erreur figure.

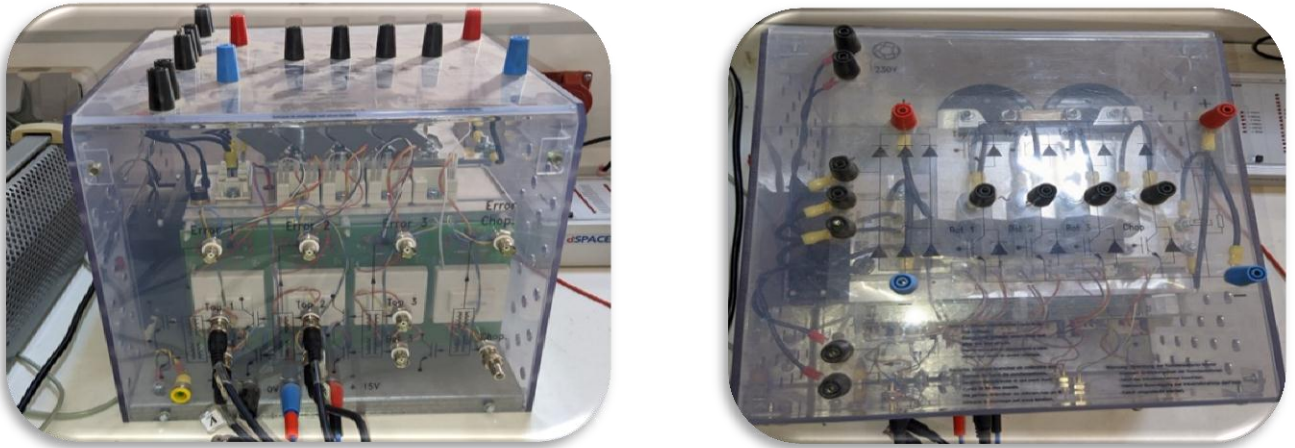


Figure IV.4 : onduleur de tension à deux niveaux (SOMIKRON)

La pompe est alimentée par un onduleur de tension triphasé commandé par la technique de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) Pour modifier l'intensité du courant.

IV.2.3.3 La partie de mesure

a) Capteur de courant et de tension

Ces capteurs sont conçus pour mesurer la tension d'entrée et la tension de sortie de l'onduleur et pour mesurer le délivrer par l'alimentation. Ils reposent sur le principe à effet HALL



Figure IV.5 : Capteur de courant et de tension

b) Capteur d'adaptations

Son rôle est d'adapté de signal PWM a la sorte de DSPACE et la division six signaux uniforme pour contrôle les MOSFET de l'onduleur.

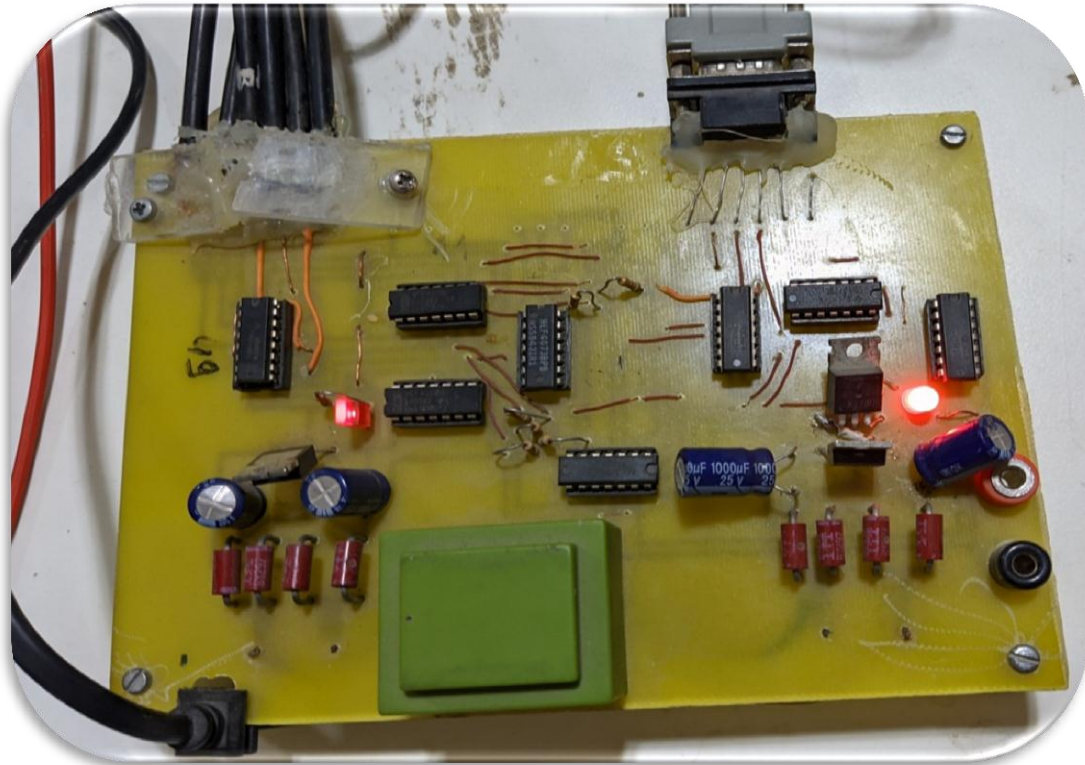


Figure IV.6 : Capteur d'adaptations

c) capteur de débit d'eau : y-fs201

Ce capteur de débit est constitué d'un rotor et d'un capteur à effet hall. Lorsque l'eau passe dans le capteur, la rotation du rotor génère des impulsions en fonction du débit. La fréquence de sortie varie en fonction de la vitesse du rotor. Convient pour de l'eau uniquement.



Figure IV.7 : capteur de débit d'eau

IV.2.3 Simulation en temps réel de la commande scalaire sur Matlab/SIMULINK et dSPACE 1104

La commande PWM scalaire sera implémentée sous MATLAB/Simulink et validée par des essais en simulation. Les résultats affichés et les paramètres sont maniés.

Le but de cette partie est de vérifier le travail théorique et de simulation, par l'intermédiaire des résultats expérimentaux obtenus avec un onduleur SEMIKRON. L'acquisition des grandeurs électriques faite par la carte dSPACE DS1104 est visualisée sur le logiciel Control Desk en temps réel. Ce logiciel permet de sauvegarder les grandeurs sous forme de fichier de données sur Matlab.

Le modèle développé pour la simulation doit être connecté à des dispositifs externes (générateurs de signaux et oscilloscopes). Puisque ces dispositifs sont physiquement des générateurs / récepteurs de signaux partant ou provenant du DSP, on doit faire passer ces signaux PWM par l'intermédiaire des canaux d'entrée-sortie analogiques, situés sur le boîtier de connexion de la carte.

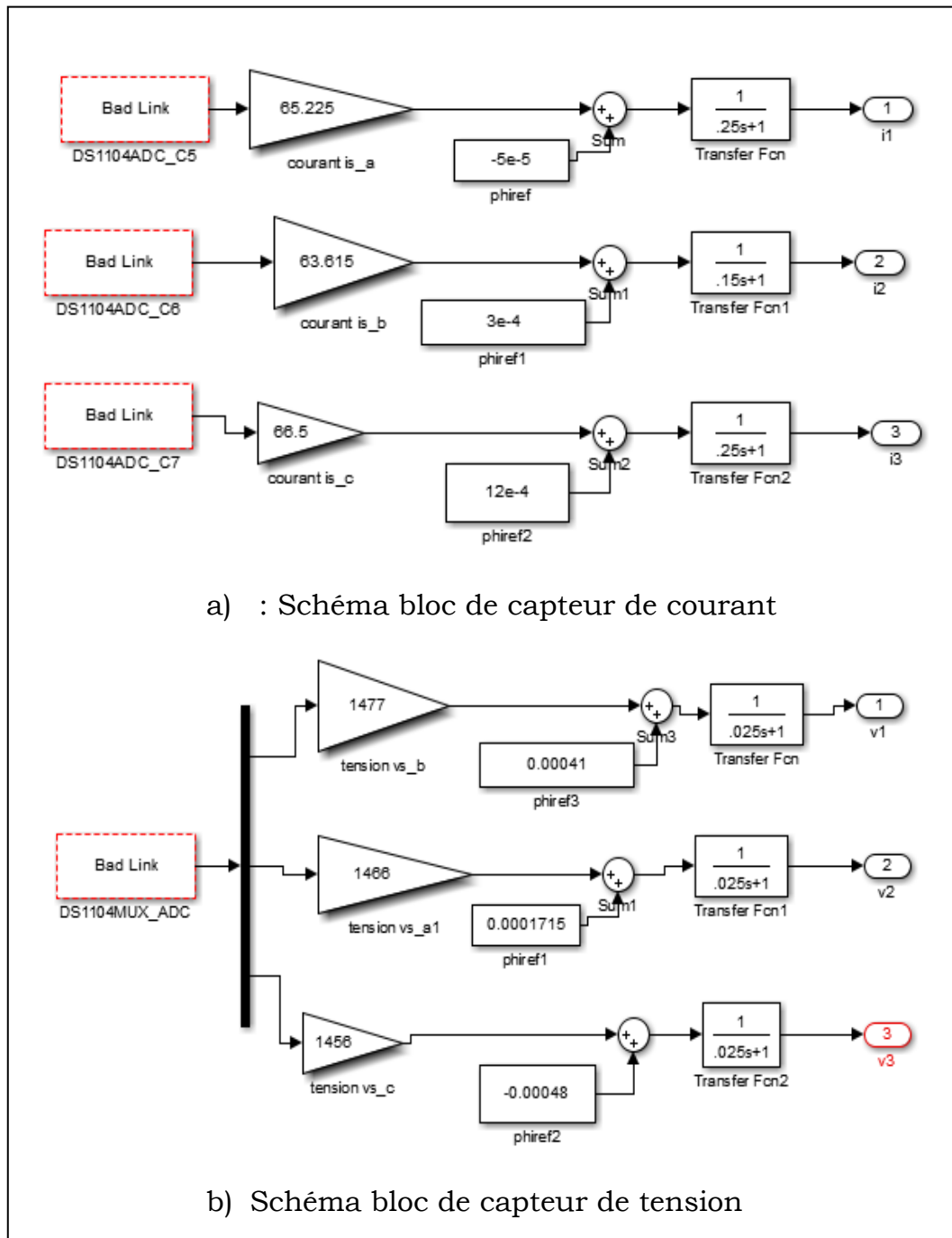


Figure IV.9 : schéma bloc Simulink des capteurs

- a) Schéma bloc de Capteur de courant
- b) Schéma bloc de Capteur de tension

IV.2.3 .1 Système d'acquisition « Control Desk »

Control Desk permet de dialoguer avec la carte dSPACE via le schéma Simulink chargé dans celle-ci. Le programme de la carte dSPACE est lancé lorsque Control Desk passe en mode actif. A cet instant le programme se

trouve dans l'état éteint. L'interface de ce logiciel est le résultat obtenu donnée par la figure. Comme suit :

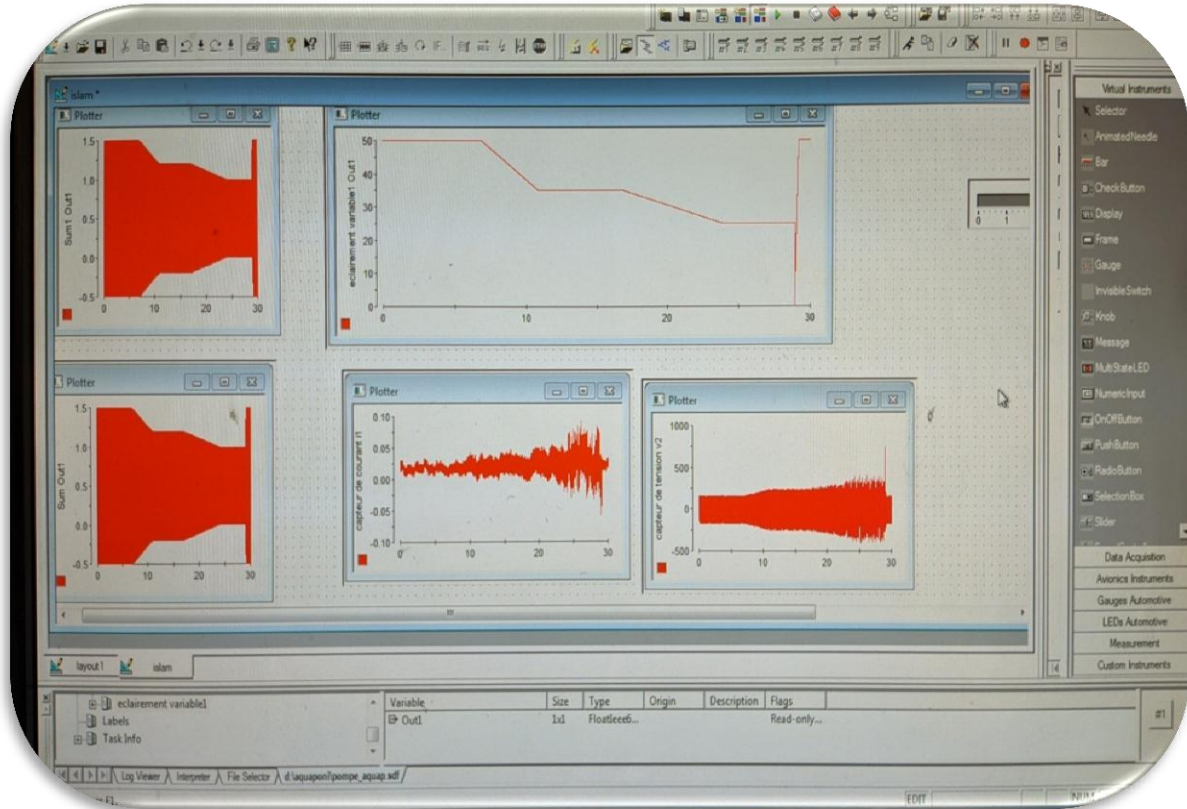


Figure IV.10 : le résultat obtenu sur Interface de logiciel Control Desk

IV.2.3.2 Résultats et interprétation expérimentaux de la simulation

Ces figures présentent la fréquence, Signaux PWM1, PWM2, PWM3 et PWM4, forme d'onde de la tension, la tension et le courant pour l'onduleur à deux niveaux présentés par les figures ci-dessous :

La figure (IV.11) représenter la fréquence de notre système pendant trois secondes Sur la figure, on peut voir que la courbe de fréquence va commencer avec une valeur élevée 50Hz, ensuite il diminue progressivement jusqu'à atteindre sa valeur la plus basse qui est 0Hz.

Le changement de fréquence, en raison de la loi $V/f = \text{const}$

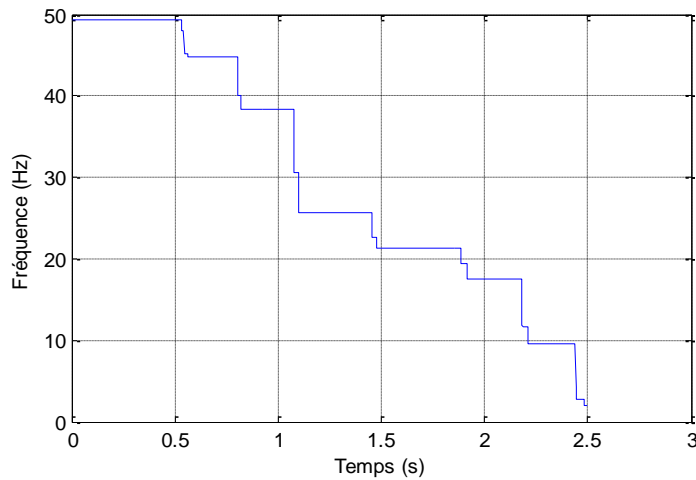


Figure IV.11 : la fréquence

- Pour la figure (IV.12) illustre les Signaux de commande PWM1, PWM2, PWM3 et PWM4. On remarque que la variation de la tension d'entrée de l'onduleur provoque une variation de la fréquence du signal. C'est le principe de la commande V/f en boucle ouverte.

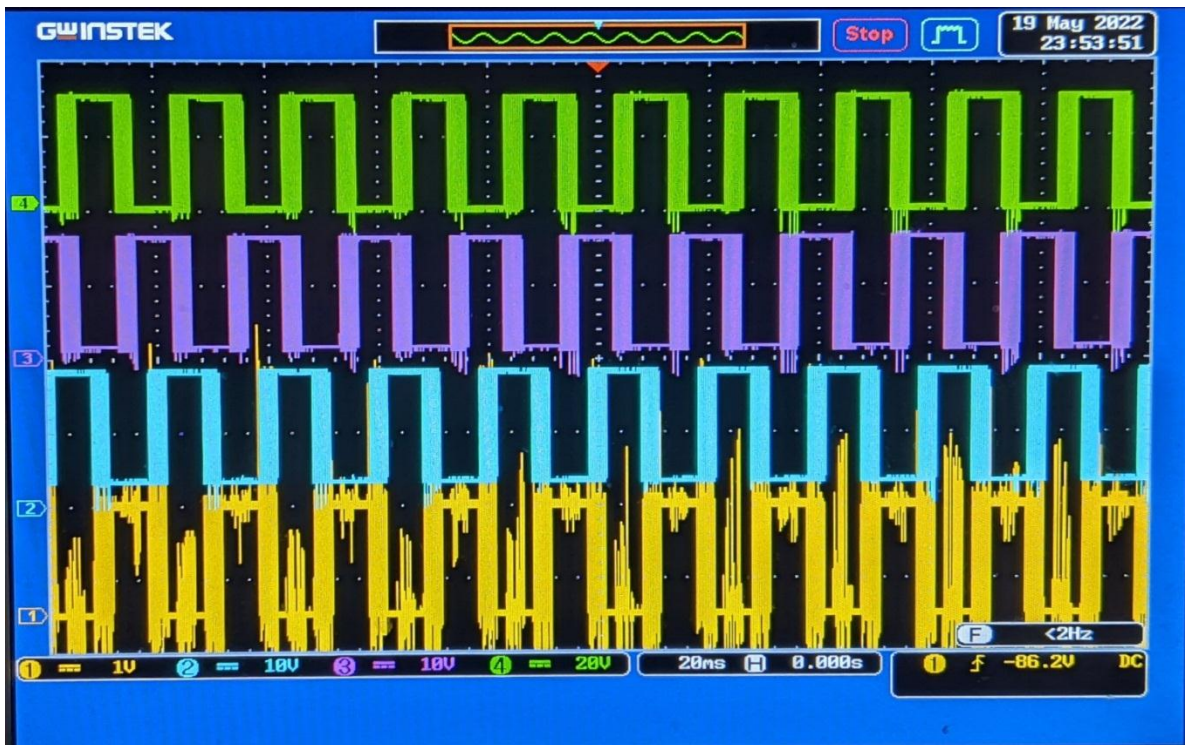


Figure IV.12 : Signaux PWM1, PWM2, PWM3 et PWM4

- La figure (IV.13) montre onde de tension de l'onduleur sur les entres S1 et S2 on peut voir que la fréquence fait varier l'amplitude S1 et S2 jusqu'à 0.5v qui commence à une valeur élevée 1.5v

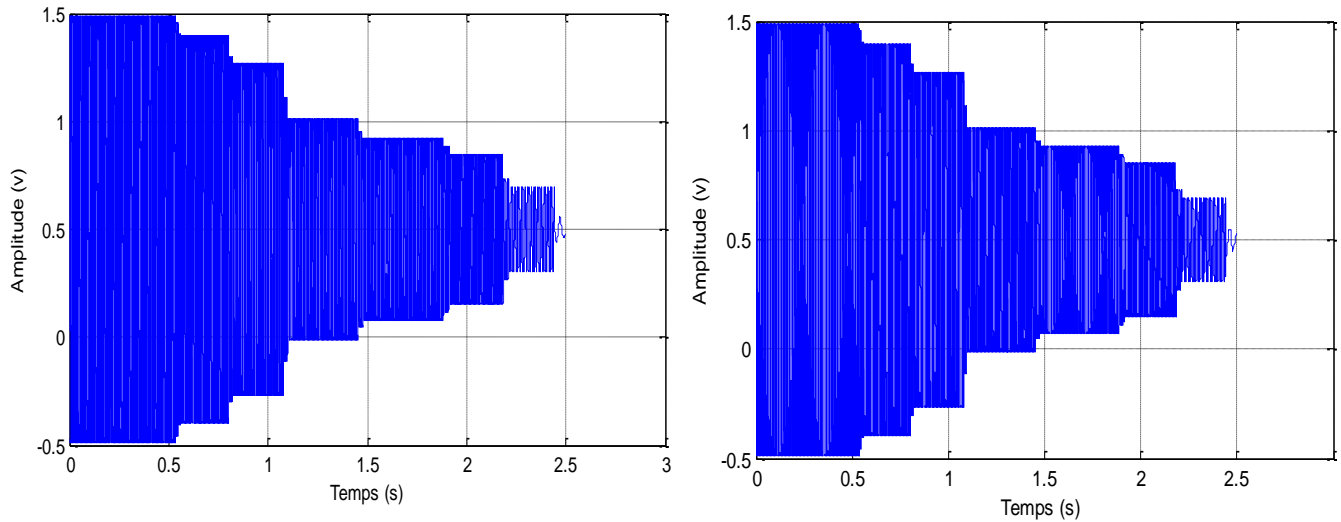


Figure IV.13: forme d'onde la tension de l'onduleur

- Figure (IV.14) affiche la tension de la sortie de l'onduleur en va voir que la valeur de tension augmente avec la valeur décroissante de la fréquence jusqu'à atteindre une valeur maximale 120v après 2 sec

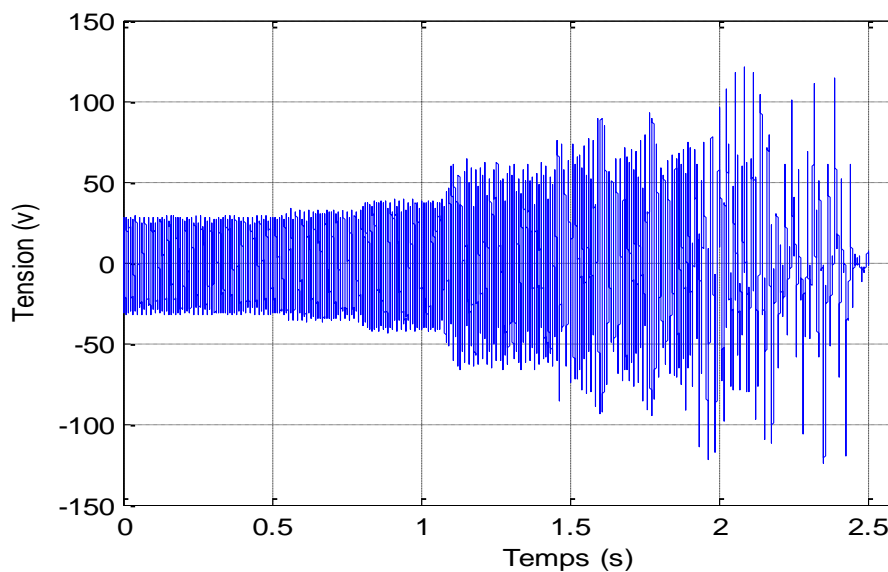


Figure IV.14 : représente la tension de sortie de l'onduleur

- Figure (IV.15) montre le courant [A] sur trois secondes. Sur la figure, on peut voir que Le courant augmente lorsque la fréquence diminue et Il a atteint une grande valeur 0.06A après 1 sec

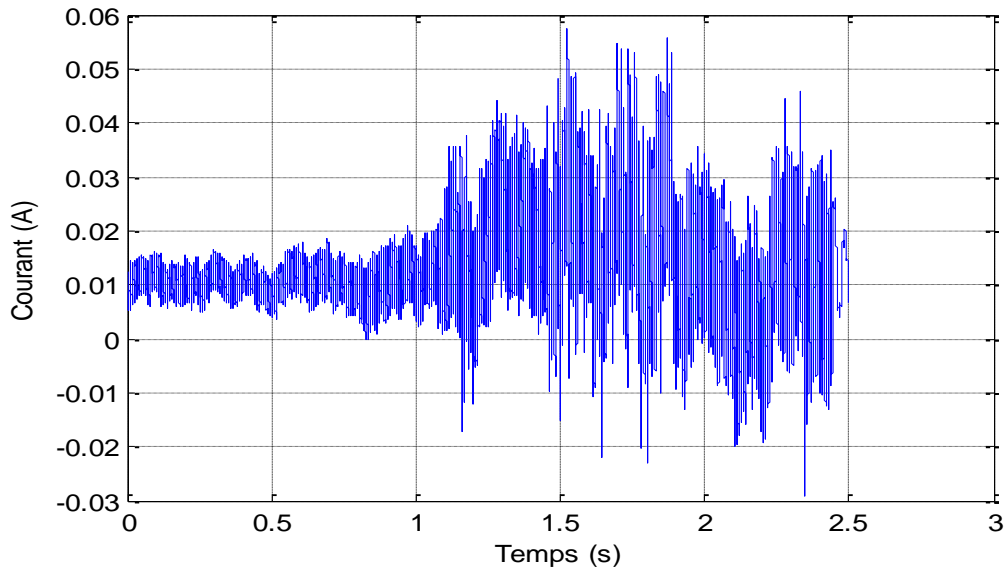


Figure IV.15 : représente le courant de sortie de l'onduleur

IV.3 Deuxième partie : réalisations et fabrications de notre système aquaponique

Après avoir réussi dans la première partie à incarner une méthode de contrôler la pompe, afin de planifier la fabrication de notre système aquaponique.

Il existe de nombreuses techniques et de nombreux supports permettant de faire de l'aquaponie. L'essentiel est d'avoir un contenant pour les poissons, un support pour les plantes et un support pour les bactéries.

Alor Dans cette deuxième partie nous allons trouver des pistes, des étapes et des astuces pour fabriquer un très bon système aquaponique de type radeaux qui on a déjà parlé dans le première chapitre.

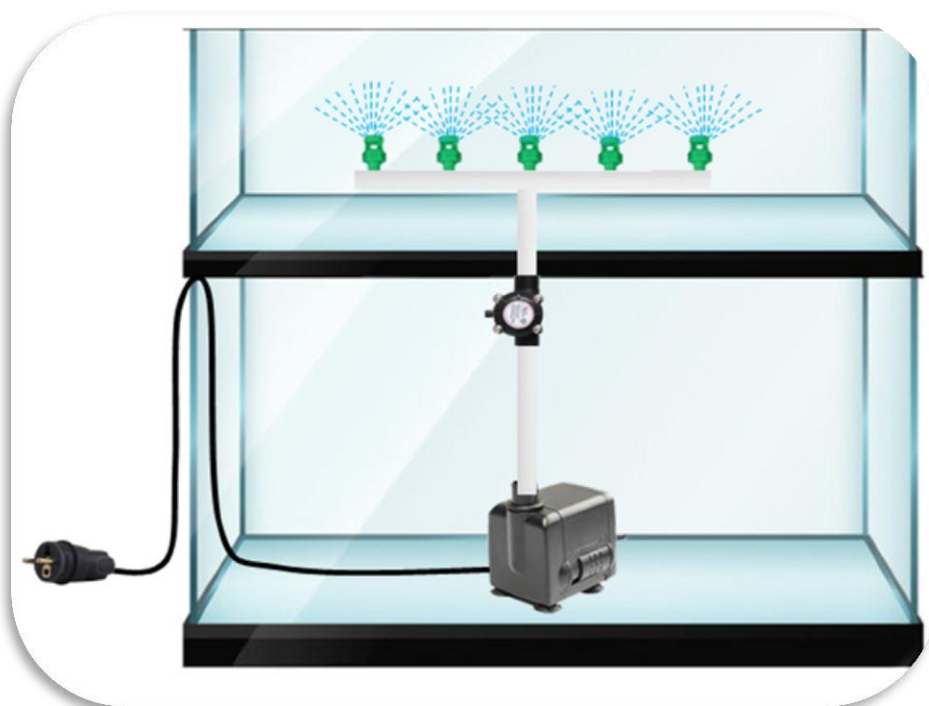


Figure IV.16 : Schéma synoptique de notre système aquaponique



Figure IV.17 : notre système aquaponique

- Voici les recommandations techniques pour la mise en place, le choix des équipements et la gestion productive du système aquaponique.

IV.3.1 Le choix du réservoir à poissons (aquarium)

Malgré nous avons des débutants dans cette expérience d'aquaponie, nous avons utilisé un réservoir de volume 300 litres. En effet, un minimum de 200 litres est requis mais nous avons choisi un réservoir sa capacité est presque de 300 litres. [11] La figure ci-dessous présente le réservoir de poissons de notre système :



Figure IV.18 : réservoir à poissons (aquarium)

Il est conseillé de commencer avec 200 litre pour ne pas passer notre temps à rééquilibrer l'eau du système car la masse tampon et l'inertie de

notre système seront trop faibles pour s'autoréguler. La chose à retenir est que plus le système est gros et moins il a tendance à se dérégler ou à ne pas s'autoréguler. [11] N'oublions pas non plus le fait que nos poissons vont grandir et si nous voulons les nourrir à leur convenance sur toute l'année, il faudra qu'ils aient la place pour grandir.

IV.3.2 Le choix du bac de culture a plants avec la fabrication du siphon

En aquaponie, tout est relatif et dépend du volume de plantes que nous cultivons au bac de culture. Comme tous les systèmes aquaponique sont évolutifs, nous pourrions bien entendu adapter la surface de culture en fonction de nos envies et besoins.

Évidemment, notre bac de culture dépend de la taille et des dimensions de notre aquarium. Vu que la superficie de l'aquarium est grande. Nous choisirons de connecter deux bac ensemble afin d'être compatible avec la surface de l'aquarium

- Ces bacs sont constitués d'un système d'irrigation des plante qui on a créé par des siphons PVC Aves des trous pour le retour de l'eau comme ci-dessous :



Figure IV.19 : bac de culture a plants avec las canaux DWC

- On a utilisé tuyaux et étroits et des coudes en PVC avec un de 20mm, pour la circulation d'eau et pour arroser les plantes. Ces tuyaux permettent de relier le bac à culture par un raccord pvc en T et irrigation les plants

IV.3.4 Fabriquer ses radeaux

Les radeaux utilisés sont fabriqués par des feuilles de polystyrène et nous les avons faites sous forme de cercles de la taille des pots, puis nous avons fait des trous au milieu de ces feuilles pour mettre les plantes à l'intérieur, après on a fait des trous dans les couvercles du bac de culture des plants avec une perceuse, puis on a mis des gobelets en plastique à l'intérieur de ces trous comme le montre la figure ci-dessous représente le système radeaux :

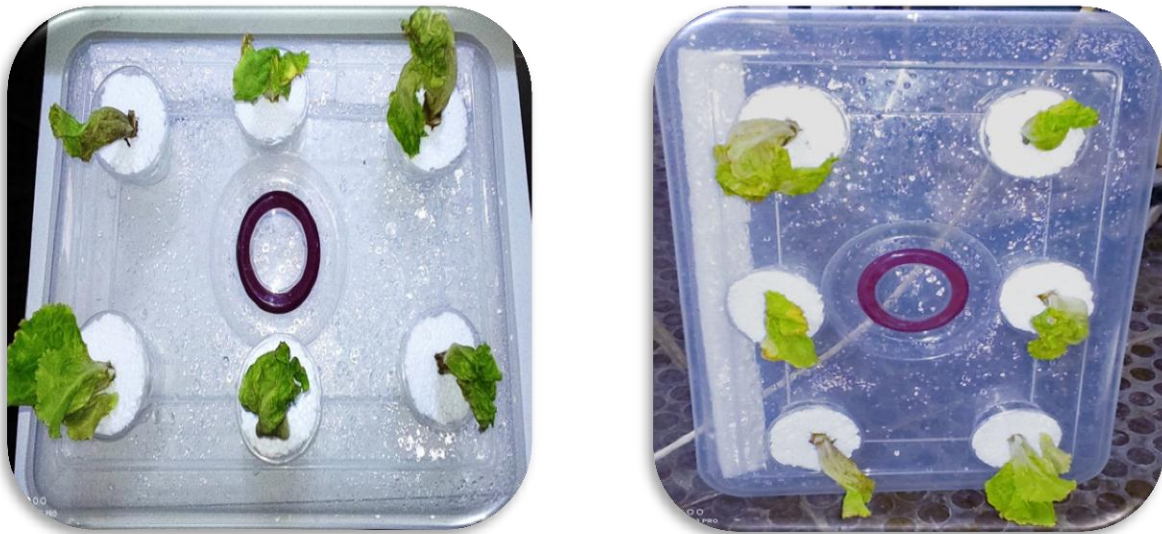


Figure IV.20 : Les radeaux

➤ remarque

Les principes et règles de base pour la fabrication de radeaux en polystyrène sont :

- L'eau qui se trouve dans les canaux doit être entièrement recouverte sans aucune exposition à la lumière.

- Choisir des feuilles de polystyrène extrudé qui font au moins 3 cm d'épaisseur afin de supporter le poids des plantes.
- Le polystyrène ne doit pas libérer des toxines dans l'eau, assurez-vous qu'il est prévu pour la production alimentaire ou de qualité alimentaire.

IV.3.5 Le choix de la pompe d'eau

On a utilisé dans le système aquaponique est une pompe submersible de 50w et 2000L/h. Cette pompe est placée au fond de l'aquarium pour fait monter l'eau de l'aquarium vers la culture de bac est comme illustre dans la figure ci-dessous



Figure IV.21 : pompe Submersible

L'oxygène est primordial dans notre écosystème. Plus notre système n'aura d'oxygène, plus nos poissons et nos plantes effectueront leur travail de transformation de l'azote et en meilleure santé sera votre circuit.

- La quantité de l'oxygène qu'on doit ajouter au système dépend de l'espèce de poisson que nous avons introduite dans notre écosystème. Pour cela on a amené une pompe à air.



Figure IV.22 : pompe à air

IV.3.6 La circulation d'eau

La circulation d'eau se fait comme de la manière : nous avons placé une la pompe immergée de 50W dans le bassin à poissons, ce dernier se remplit 2000L/H de volume avec l'eau, ainsi elle permet de tirer l'eau d'élevage vers le réservoir haut(bac de culture a plants) par un tuyau de PVC qui lie la pompe avec le réservoir haute là on pulvérise de l'eau grâce aux trous existants sur les tuyau PVC. Puis l'eau retourne au l'aquarium par les trous existants dans réservoir haute

IV.3.7 Un système de filtration

Le filtrage de l'eau est primordial pour le bon fonctionnement du système. En effet, la vie des poissons dépend de la propreté de l'eau, le choix de substrat, eau, plantes, poissons et nourritures des poissons. [11]

IV.3.8 Le choix de l'eau

Concernant le choix du type d'eau, toutes les eaux sont très souvent polluées aux engrais et aux pesticides de tout genre. La meilleure eau est évidemment l'eau de pluie, l'eau de pluie doit être correctement récoltée et stockée. Elle restera la source d'eau la plus saine et naturelle qui convient à notre système aquaponique. [11]

IV.3.9 Choix des plantes

La culture de certains fruits et légumes a vraiment besoin du temps parce qu'ils ont besoin d'une grande quantité de nutriments, alors nous avons

préférée commencer avec des plantes pauvres en nutriments comme les salades



Figure IV.23 : plante de salade

La sélection et l'espacement des plantes est fait judicieusement. Nous avons donc planté de la salade car elle a un cycle de croissance court.

IV.3.10 Choix du type des poissons

Après avoir confirmé la sécurité de notre système aquaponique et l'exempt de défauts, il reste seulement l'ajout des poissons.

Nous avons pêché des poissons chat africain et des poissons rouges ce type des poissons adapté avec les conditions difficiles.



Figure IV.24 : Les Poissons de notre projet

IV.3.11 La nourriture des poissons

Après avoir choisi le type des poissons, nous avons cherché le moyen le plus convenable pour les nourrir. Vu que notre projet est à court-terme, nous avons jugé plus adéquat d'acheter de la nourriture prête destinée aux poissons, et qui est riche en protéines.

L'alimentation régulière du poisson est une raison nécessaire pour maintenir l'équilibre nutritionnel de notre système aquaponique. Nous avons donc préféré nourrir le poisson en continu, deux fois par jour, et à chaque repas environ 20 grammes de nourriture.

IV.3.12 La lumière

Il est connu que les plantes ont besoin de la lumière pour effectuer la photosynthèse. La lumière du soleil est l'une de nos principales sources d'implantation, d'où notre système doit être exposé quotidiennement au soleil, La durée de l'exposition à lumière dépend du type de plante et de la lumière disponible dans sa zone de croissance. Dans notre cas, nous avons utilisé l'éclairage du laboratoire comme source de lumière pour notre système.

IV.3.13 Validation de projet

Après l'avoir testé sans de notre système on a constaté que le débit fournée est assez élevez d'où on a adapté à travers la commande de système de pompage le débit nécessaire au bonne fonctionnement de système aéronique illustré ci-dessous:

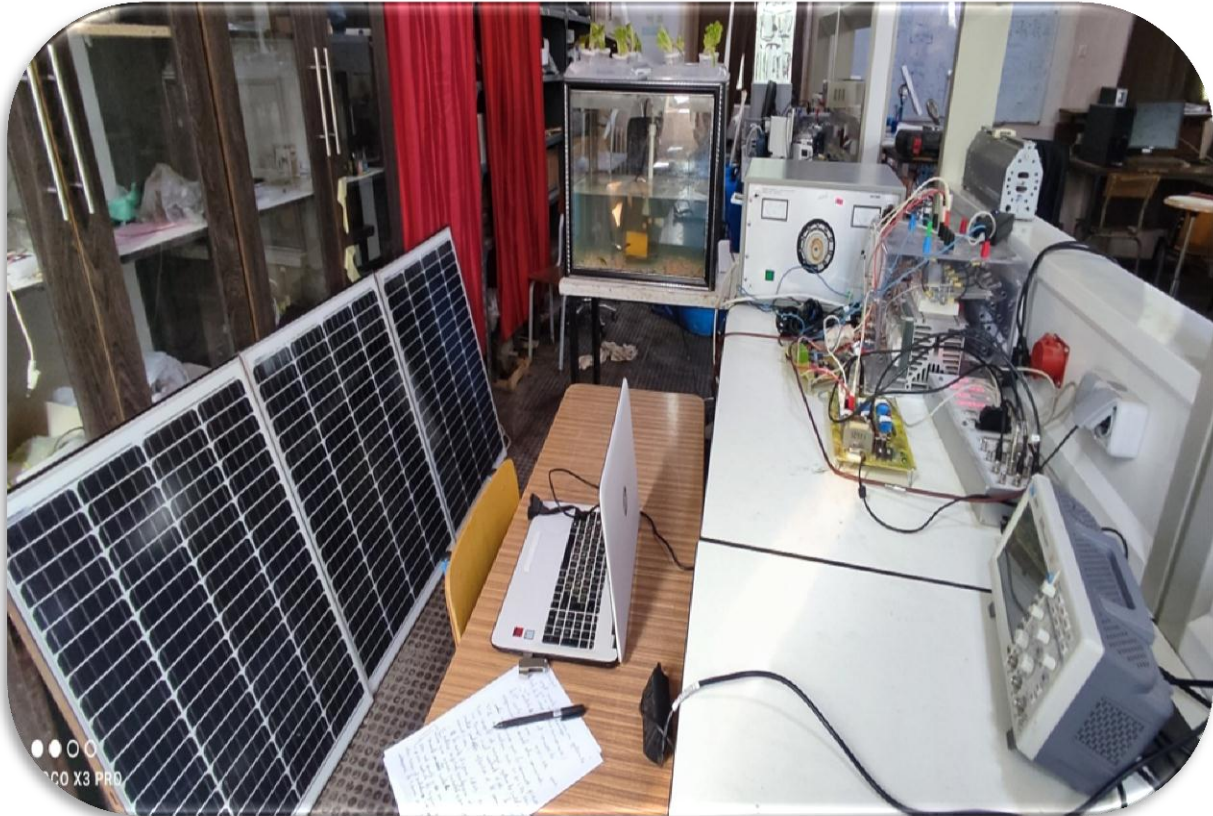


Figure IV.25 : système de pompage photovoltaïque pour un système Aquaponique

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a discuté les différentes parties de notre réalisation et la commande en temps réel, ainsi que les méthodes et matérielle utilisé pour concevoir le projet de système de pompage photovoltaïque appliqué au système aquaponique. Ce travail est composé de deux parties :

- La Premier partie consiste à implémenter l'un des méthodes de commande de l'onduleur pour alimenter notre système. La technique choisie et la technique de commande scalaire V/f est puisqu'elle n'est pas difficile à

mettre en application. L'acquisition des grandeurs électriques faite par la carte dSPACE DS1104 est visualisée sur le logiciel Control Desk en temps réel.

Dans la deuxième partie nous avons réussi à fabriquer un système d'aquaponie fonctionnel. Nous avons décrit en détail les éléments écologiques de notre système et produit une vision générale des différents choix effectués dans ce contexte. Nous avons justifié, par le biais de ce chapitre, le choix de plante (salade) ainsi que le choix des poissons et de leur nourriture ainsi que d'autres composants essentiels

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Ce travail est consacré à l'objectif de fabriquer un système aquaponique contrôlé par un système de pompage photovoltaïque. Ainsi la simulation d'un système de pompage photovoltaïque d'eau.

Nous avons structuré notre mémoire en quatre parties. La première partie consiste à essayer de donner une vision générale sur les systèmes aquaponique en parlant de leurs types, composants et applications. Nous avons terminé ce chapitre en mentionnant les différentes pompes utilisées dans le système de pompage photovoltaïque.

On peut dire que cette idée n'a pas été largement adoptée en Algérie, et c'est exactement l'objectif principal de notre projet ; Nous cherchons à promouvoir cette idée dans nos paiements car nous sommes convaincus qu'elle aura un poids important dans un avenir immédiat.

Dans la deuxième partie, nous avons donné un aperçu sur l'énergie photovoltaïque, ces principes notions sur la conversion photovoltaïque et les différents systèmes photovoltaïques en générale. Avec le système de stockage.

Concernât la troisième chapitre il constituée de deux partie,

- premier partie traite les différents convertisseurs statiques, présenté les méthodes MPPT basées sur contre réaction de puissance comme les deux méthodes classiques (PO et IC).La technique scalaire de la machine. Les modèles de la machine asynchrone et de la pompe sont aussi données.

La deuxième partie de ce chapitre on a procédé à la simulation de système de control d'un système photovoltaïque d'aéroponique. Le systèmes de pompe à eau submersibles entraînées par un onduleur PWM avec la technique scalaire et moteur à induction monophasé a été modélisé et simulés dans MATLAB/Simulink. Pour une optimisation de l'énergie délivrée par le générateur photovoltaïque, on

a utilisé la technique de poursuite de puissance maximale MPPT, l'algorithme utilisé pour la recherche du point de puissance maximale est la P&O «Méthode de perturbation et d'observation».. Enfin, les résultats de simulation sont indiqués que le système PV devrait être utilisé pour faire fonctionner des modèles similaires en raison de la stabilité de la tension et de la puissance du système.

Pour le dernier chapitre de ce mémoire, nous avons détaillé la conception et la réalisation expérimentale de notre projet. Nous avons commencé par crée une méthode ou bien une plateforme de commande pour notre système aquaponique en temps réel, la deuxième étape c'est introduire les étapes et les outils de conception puis nous avons présenté les étapes et les outils de fabrication de notre système.

Pour conclure Cette nouvelle technique a été adoptée comme étant une politique d'agriculture dans certains pays, et nous espérons qu'elle prenne place dans notre pays et qu'elle puisse améliorer la productivité de notre agriculture et l'état écologique

Les résultats de ce travail nous permettent de suggérer les points de vue suivants :

- Amélioration du système par d'autres techniques de commande.
- La réalisation d'une telle installation, puis effectués des tests afin de valider les résultats de simulations
- Implanter ce système pour faire circuler et renouveler l'eau du bassin à poisson périodiquement, assurer une exposition maximale des plantes et des poissons de l'aquaponie à la lumière
- Proposition de notre travail au milieu industriel.

ABSTRACT

Résumé

L'aquaponie est un système d'agriculture fermé qui unit la culture de plante et l'élevage de poissons. Ce système est considéré comme étant très écologique car il met les plantes et les poissons l'un en service de l'autre. Le système aquaponique nécessite de l'énergie sous différentes formes, chaleur, rayonnement solaire, électricité, etc. Les composants d'actionneur typiques d'un système aquaponique comprennent les pompes, les radiateurs, les mangeoires, les propagateurs, les lumières, etc.

Notre travail consiste à concevoir de contrôler un système de pompage photovoltaïque avec pour un système aquaponie ce système se compose d'un réservoir bas et d'un réservoir haut. Le réservoir bas est considéré comme un aquarium, l'eau dans laquelle est pompée à travers une pompe vers le réservoir haute qui contient des plantes (salade) qui est arrosée à travers l'eau pompée et l'eau restante retourne à l'aquarium par un canal de retour après de filtrage.

Le comportement dynamique du système est étudié à l'aide des outils Matlab/Simulink. Il montre que le générateur photovoltaïque est délivré la puissance maximale au système. De plus, les modes de fonctionnement montrent que le schéma de contrôle proposé offre améliorer les performances des applications d'interface utilitaire. Il est simple à mettre en œuvre et capable de produire des formes d'onde de courant et de tension sinusoïdales parfaites

Mots clés: système aquaponique - générateur Photovoltaïque - Pompage - MPPT – Simulation

ملخص :

الزراعة النباتية المائية هو نظام زراعي مغلق يوحد زراعة النباتات وتربية الأسماك. يعتبر هذا النظام صديقاً للبيئة للغاية لأنه يضع النباتات والأسماك في خدمة بعضها البعض. يتطلب نظام الزراعة النباتية المائية الطاقة بأشكال مختلفة، حرارة، إشعاع شمسي، كهرباء، إلخ. تشمل مكونات المشغل النموذجية لهذا النظام على المضخات، والسخانات، والمغذيات، والناشر، والأضواء، إلخ...

يتمثل عملنا في تصميم نظام ضخ ضوئي بكل خصائصه لنظام الزراعة النباتية المائية حيث يتكون هذا النظام من خزان منخفض وخزان مرتفع، ويعتبر الخزان المنخفض حوضاً مائياً، حيث يتم ضخ المياه من خلال مضخة

إلى الخزان المرتفع الذي يحتوي على نباتات (سلطة) يتم سقيها من خلال الماء الذي يتم ضخه ويعود الماء المتبقي إلى الحوض من خلال قناة رجوع بعد التصفية.

يتم دراسة السلوك الديناميكي للنظام باستخدام برنامج خاص يوضح أن المولد الكهروضوئي يوفر الطاقة القصوى للنظام. علاوة على ذلك، توضح أوضاع التشغيل أن مخطط التحكم المقترح يوفر أداءً محسناً لتطبيقات واجهة المرافق. إنه سهل التنفيذ وقادر على إنتاج أشكال موجية كاملة للتيار والجهد الجيبي الكلمات المفتاحية: - محاكاة - MPPT - نظام الزراعة النباتية المائية- مولد ضوئي - ضخ

Abstract:

Aquaponics is a closed farming system that unites plant cultivation and fish farming. This system is considered to be very environmentally friendly because it puts plants and fish at the service of each other. The Aquaponics system requires energy in different forms, heat, solar radiation, electricity, etc. Typical actuator components of an Aquaponics system include pumps, heaters, feeders, propagators, lights, etc. Our work consists in designing to control a photovoltaic pumping system with for an Aquaponics system this system consists of a low tank and a high tank. The low tank is considered an aquarium, the water in which is pumped through a pump to the high tank which contains plants (salad) which is watered through the pumped water and the remaining water returns to the aquarium via a return channel after filtering. The dynamic behavior of the system is studied using Matlab/Simulink tools. It shows that the photovoltaic generator is delivering the maximum power to the system. Moreover, the operating modes show that the proposed control scheme offers improved performance for utility interface applications. It is simple to implement and capable of producing perfect sinusoidal current and voltage waveforms.

Keywords: Aquaponics system - Photovoltaic generator - Pumping - MPPT - Simulation -

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

[1] Production intégrée de poissons et de légumes en aquaponie (Documents / Embrasa Tabulerions Costaros, ISSN 1678-1961, 189).

[2] Production intégrée de poissons et légumes en aquaponie. Aracaju : Embrasa Tabulerions.

[3] Mémoire (Master) – Faculté des Sciences, Université de Porto, Porto, Portugal, 2017.

[4] Journal des biosciences et de la bio ingénierie, Osaka, v. 98, n. 4, p. 309-312, 2004.

[5]<https://www.aquaponie.fr/cycler-leau-de-son-systeme-aquaponique/>

[6] Backyard Aquaponics Magazine. 2006 and 2007 / magazine@backyardaquaponics.com

[7] Nelson and Pade, Inc.

[8] aquaponique.fr aquaponie

[9]. Aquaponie Journal, v.46: 14-17, 2007.

[10]. Tilapia aquaculture in the Americas 2. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2000. p. 133-140.

[11] HARLAUT. Pierre, www.aquaponie.biz

[12]. Environmental Impact Assissent Review, v. 61, p. 52–60. 2016.

[13]. FAQUIN. v.; FURTINI N.A.E.; VILELA, L. A. A. Lettuce production in hydroponics. Lavras: UFLA, 1996. 50 p.

[14] Steve Diver Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture.2006

[15] Ahmed O. Bagré. « Cours sur le pompage photovoltaïque et le dimensionnement de système PV»

[16] A. Daoud « Contrôle de la puissance d'un générateur photovoltaïque pour le pompage solaire ». Thèse Doctorat université d'Oran 2013

[17] N.Khediri, L. Tedjini «Etude, modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque.» ; Mémoire de master, Université UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI-BEL-ABBES 2018

[18] Moyses Nussenzveig. Basic Physics Course: Optics and Modern Physics v.4 4th Ed. Edgard Blücher, 2002

[19] René Lafrance Avec la collaboration de : Jean Parent Physique 3 - Ondes, optique et physique moderne 1re édition 2015

[20] Raymond A. Serway, John W.Jewett, J: Physique Tome 3 : Ondes, optique et physique moderne

[21] R. EISBERG, R. RESNICK, Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles 2nd Edition

[22] Y. Veschetti, Modélisation caractérisation et réalisation de nouvelles structures photovoltaïques sur substrat de silicium mince,

Thèse de doctorat, discipline: physique des semi-conducteurs, université Louis Pasteur (Strasbourg I), 2005

[23] Albert Paul MALVINO David J.BATES, PRINCIPE D'ELECTRONIQUE (9e EDISTION)

[24] Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith Microelectronic Circuits 5th Edition

[25] David Halliday, Robert Resnick, Kenneth. S. Krane. Physique 3. 4. – Ouvrages techniques et scientifiques, 10janv. 1992

[26] VERAS, C. K. O. B. Equer, Energie solaire photovoltaïque (volume1 : physique et technologie de la conversion photovoltaïque), 1ère édition, ELLIPES, Paris, 1993

[27] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho « Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays ». IEEE Transaction on power electronics, Vol.24, No 5, 1198-1208, May 2009

[28] Cássio Araújo Do Nascimento. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque. Université fédérale de Lavras 2004

[29] Robert Soler « L'énergie solaire des fondamentaux aux technologies d'aujourd'hui et de demain »

[30] A. Labouret, M. Viloz, Energie solaire photovoltaïque, 3ème édition, DUNOD, Paris, 2006

- [31] Pierret, R. F., 1997. "Semiconductor Device Fundamentals", Addison-Wesley, United States of America, 792p
- [32] Fabiano perin gasparin Development of a tracer of characteristic curves of photovoltaic modules. 2009
- [33] Denizar Cruz Martins Analysis of a Three-Phase Grid-Connected PV Power System Using a Modified Dual-Stage Inverter 2013
- [34] Marcelo Gradella VILLALVA et Jonas Rafael GASOIL. Concepts et applications de l'énergie solaire photovoltaïque - Systèmes isolés et connectés au réseau. São Paulo : 2012. 224p.
- [35] [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]
- [36] Batteries solaires pour stocker l'énergie - AC Rouen
- [37] BOUTABBA Tarek « Contribution à la modélisation et a la commande D'un système génération hybride Solaire-éolien ».thèse de Doctorat en Sciences en Électrotechnique. Option : Commande. Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd
- [38] F. Kininger, "Photovoltaic Systems Technology", University of Kassel, 200
- [39] Dr. BOUNADJA Elhadj « MODELISATION DES MACHINES ELECTRIQUES »
- [40] V. Hrabovcova, L. Kalamen, P. Sekerak and P. Rafajdu « Determination of Single Phase Induction Motor Parameters »

[41] Lekmine Anfel. « Commande Vectorielle en Mode Monophasé D'une Machine Asynchrone Triphasée à Cage » Mémoire de master. Université ABBES LAGHROUR Khenchela.2021

[42] Abedallah Henka. Mostefa Ghenbazi. Kamel Benali « Commande scalaire d'une Machine Asynchrone Triphasée » Mémoire de Fin d'Étude Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

[43] Chenni « Etude techno-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire » Thèse de Doctorat. Université de Constantine 2007

[43] BENABDALLAH. K « Conception de la commande d'une machine asynchrone ». MÉMOIRE DU DIPLÔME DE MAGISTER. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf ».2015

[44] sellmana.H «Etude et Réalisation d'un Système de Pompage Solaire à Base d'un Moteur Monophasé, Gouverné par un Microcontrôleur Pic, pour Utilisation Domestique ». Mémoire de Magister. Université HADJ LAKHDAR Batna.2015.

ANNEXE

Annexe 01 : Paramètres d'un panneau photovoltaïque SunPower SPR-305-WHT

Paramètre	Valeurs
Puissance maximale du panneau Pmp (W)	305
Courant au point de puissance maximale du panneau Imp (A)	5.58
Tension au point de puissance maximale du panneau Vmp(V)	54.7
Courant de court-circuit Icc(A)	5.96
Tension de circuit ouvert Voc(V)	64.2
Current temperature coefficient ©	0.38
Voltage temperature coefficient ©	0.177

Annexe 02 : Paramètres de la machine asynchrone monophasée

Paramètres	Valeurs
Voltage (V)	220
Fréquence (Hz)	50
Motor power:(KW)	3.7
Résistance statorique Rs (Ω)	2.02
Résistance rotorique Rr (Ω)	4.12
Inductance statorique Ls (Ω)	0.3652
Inductance rotorique Lr (Ω)	0.3661
Nombre de pôle P	2-4

Annexe 03 : La pompe immergée : Modèle FPM501

Paramètre	Valeurs
Puissance (W)	50
Voltage (V)	220-240
Fréquence (Hz)	50
Débit maximum (L/H)	2000
Profondeur max (m)	3
Hauteur max (m)	2

Annexe 04 : Pompe à air : Modèle : insert plat RS-290

Paramètre	Valeur
Tension (V)	220
Fréquence (Hz)	50
Puissance (3W)	3
Débit (l/min)	1.61

Annexe 05 : Capteur de débit : Model : YFS201

Brochage:

- noir: masse
- rouge: +5 à +24 Vcc
- jaune: signal

Paramètre	Valeurs
Tension d'alimentation (V)	5
Courant maximum (mA)	15
Plage de mesure (l/min)	1 à 30
Pression max (Mpa)	1,2
Température d'utilisation °C	0 à 80°
Poids (g)	43

MODEL: YF-S201**Description :**

Le capteur de débit d'eau se compose d'un corps de vanne en plastique, d'un rotor d'eau et d'un capteur à effet hall. Lorsque l'eau traverse le rotor, le rotor roule. Sa vitesse change avec débit différent. Le capteur à effet hall délivre le signal d'impulsion correspondant. Celui-ci est adapté pour détecter le débit dans un distributeur d'eau ou une machine à café. Nous disposent d'une gamme complète de capteurs de débit d'eau de différents diamètres. Consultez-les pour trouver celui qui répond le mieux à vos besoins.

Features:

Compact, facile à installer
Haute performance d'étanchéité
Capteur à effet Hall de haute qualité
Conforme RoHS

Specifications:

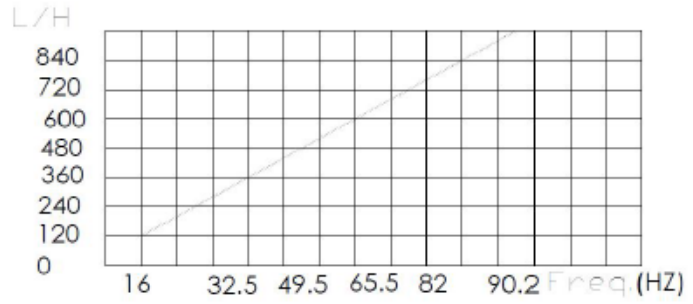
Tension de travail: DC 4.5V~24V
Tension normale: DC 5V~18V
Max. Courant de travail: 15mA (DC 5V)
Capacité de chargement: ≤ 10 mA (DC 5V)
Plage de débit: 1~30L/min
Capacité de chargement: ≤ 10 mA (DC 5V)
Température de fonctionnement : $\leq 80^{\circ}\text{C}$
Température du liquide: $\leq 120^{\circ}\text{C}$
humidité d'exploitation: 35%~90%RH
Autoriser la pression: $\leq 1.75\text{MPa}$
Température de stockage: $-25\sim+ 80^{\circ}\text{C}$
Humidité de stockage: 25%~95%RH
Force électrique 1250V/min
La résistance d'isolement $\geq 100\text{M}\Omega$
Filetages externes: 1/2"
Diamètre extérieur: 20mm
Intake diameter: 9mm
Outlet diameter: 12mm



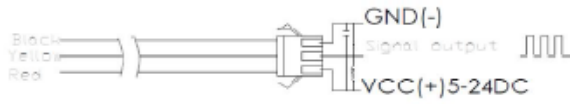
Cercuit:
 Red: Positive
 Black: GND
 Yellow: Output signal

Flow Range: 100L/H-1800H-L/H

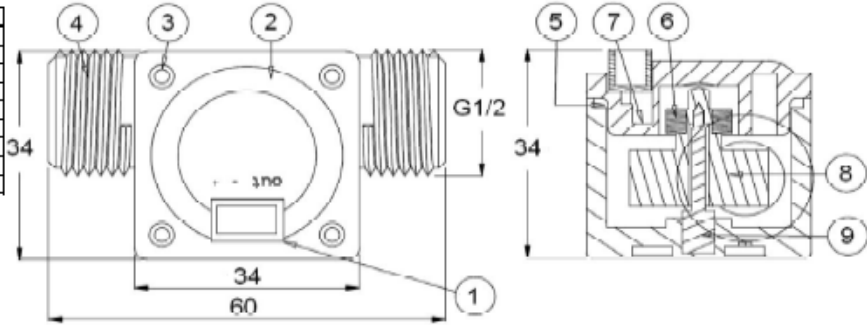
Flow (L/H)	Freqz.(Hz)	Erro range
120	16	±10 5%
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	



Connection method:



N°	Item	Material
1	Wire	PVC
2	Bonnet	PA
3	Screw	Zinc Plated
4	Valve Body	PA
5	Press Valve	
6	Magnet	
7	Hall	
8	Impeller	POM
9	Steel Shaft	SUS304



Closed

Annexe 07 : Panneaux de connexion « Entrée/Sortie des signaux » pour DS1104

Convertisseur Analogique-Numérique (ADC) : le maître PPC sur le DS104 commande une unité d'ADC comporte deux types de convertisseurs A/D.

- Un convertisseur A/D (ADC1) multiplexé à quatre canaux (signaux ADCH1...ADCH4). Les signaux d'entrée du convertisseur sont choisis par un multiplexeur d'entrée de 4:1.

Les convertisseurs A/D ont les caractéristiques suivantes :

Résolution : 16 bit

Tension d'entrée : $\pm 10V$

L'erreur de l'offset : $\pm 5\text{ mV}$

Erreur de gain : $\pm 0.25\%$

Rapport signal/bruit (SNR) : $>80\text{dB}$ (à 10kHz)

- Quatre convertisseurs parallèles A/D (ADC2... ADC5) chacun un canal (signaux ADCH5... ADCH8). Les convertisseurs A/D ont les caractéristiques suivantes :

Résolution : 12 bit

Tension d'entrée : $\pm 10V$

L'erreur de l'offset : $\pm 5\text{ mV}$

Erreur de gain : $\pm 0.5\%$

Rapport signal/bruit (SNR) : $>70\text{dB}$

Convertisseur Numérique-Analogique (DAC) : le maître PPC sur le DS104 commande une unité de DAC comporte les caractéristiques suivantes :

8 canaux parallèles de DAC (signaux DACH1... DACH8)

Résolution : 16 bit

Tension d'entrée : $\pm 10V$

L'erreur de l'offset : $\pm 1\text{ mV}$, 10V/K offset drift

Erreur de gain : $\pm 0.1\%$, 25 ppm/K gain drift

Rapport signal/bruit (SNR) : $>80\text{dB}$ à (10kHz)