



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Energies renouvelables
Solaire photovoltaïque

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
KINA FATma et ZIANI Maroua

Le : mercredi 30 septembre 2020

Commande d'un système de dessalement au fil du soleil

Jury :

Mr. RABHI Boualaga	Professeur	Université de Biskra	Président
Mr. CHAROUF Omer	MCD	Université de Biskra	Encadreur
Mme. TKOUTI Nacira	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Energies renouvelables
Solaire photovoltaïque

Réf. : Entrez la référence du document

Commande d'un système de dessalement au fil du soleil

Présenté par :

KINA Fatma et ZIANI Maroua

Avis favorable de l'encadreur :

Mr. CHAROUF Omer

signature

Avis favorable du Président du Jury

Mr RABHI Boualaga

Signature

Cachet et signature



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Energies renouvelables
Solaire photovoltaïque

Réf. : Entrez la référence du document

Commande d'un système de dessalement au fil du soleil

Proposé par : Mr.CAROUF Omer

Dirigé par : KINA Fatma et ZIANI Maroua

Résumé

Ce document, montrée un système de dessalement renouvelable. A l'aide de membrane osmose inverse ce système alimenté par l'énergie solaire, Cette méthode est basée sur le générateur photovoltaïque reliée à une machine asynchrone à flux orienté (la commende vectoriel). Pour étant un système linéaire facile à régler et alliant les caractéristiques du moteur asynchrone à cage à la flexibilité de commande associe par un moteur a haute pression qui injecter l'eau à la membrane osmose inverse qui a l'objective de filtré l'eau non buvable, Les résultats de simulation par l'outil MATLAB/SIMULINK sont présentés pour valider la robustesse et l'efficacité de cette stratégie de command.

Mots clés : osmose inverse, dessalement, énergie solaire, command.

ملخص

توضح هذه المستند نظام تحلية بواسطة الطاقات المتجددة. باستخدام غشاء التناضح العكسي هذا النظام مدعوم بالطاقة الشمسية ، تعتمد هذه الطريقة على المولد الكهروضوئي المتصل بمولد موجه للتدفق غير سهل الضبط والجمع بين خصائص محرك قفص السنجاب غير المتزامن متزامن (الأمر المتجه). لكونه نظاما خطى ومرونة التحكم المرتبطة بمحرك عالي الضغط والذي يحقن الماء في غشاء التناضح العكسي الذي يهدف إلى ترشيح المياه غير صالحة للشرب ، يتم تقديم للتحقق من قوة وفعالية استراتيجيات الأمر MATLAB / SIMULINK نتائج المحاكاة بواسطة أداة

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier

Dieux le Tout Puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement **Mr.**

CHAROUF Omer notre encadreur qui a fourni des efforts énormes, par ses Informations, ses conseils, ses encouragements, et son orientation ficelée tout au long de notre travail.

Nous tenons également à remercier messieurs

les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Nous vifs remerciements nos très chers parents et nos frères et sœurs qui ont tout jour été là pour nous par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Nous remercions également tous mes maîtres et maîtresses de la première année primaire à la cinquième année universitaire pour tout le savoir-faire et le savoir être qu'ils m'ont inculqué.

En fin nous ne saurons terminer ces remerciements

sa y associer tout personne qui, de près ou de loin nous a apporté son aide ou sa sympathie et nos cher amis de promotion.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail ...

A ma très chère mère ;

Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir, ne pourra exprimer l'amour que je te porte. En témoignage de mon profond cœur, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices.

Puisse Dieu, te préserver entr'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon cher père

Malgré que tu n'es pas entre nous, mais je suis et je serai toujours envahie par ta présence dans mon cœur et mon âme, je te remercie d'être mon papa ; d'être l'homme parfait que j'ai hâte de voir dans le paradis inchlh ; j'ai l'honneur aujourd'hui de dédier ce travail à vous ; raby yarhmk.

A mon très cher frère

« Mohamed ,Yoness et Abd elhak » qui m'a aidé et qui est toujours présent à mes côtés

A mes très chères sœurs

« Assia et Safaa » qui m'ont soutenue affectivement tous le long de ma formation.

A ma tante Chahrazade

A mes oncles

A.elaziz A.elbaset Elhassen et Elhoceine

A ma grande mère

A mon accompagnante dans notre cursus de master, ma sœur de coeur :Ziani Maroua

A tout la famille « KINA » et « MAHMOUD»

A Mes amis :khawla, Aya et Insaf

A mes camarades de promotion " Energie renouvelable "
2015/2020, pour tout ce que nous avons partagé.

Votre Fatma

Dédicace

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A la mémoire de mes parents qui m'a quitté depuis 21 ans.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MES CHERS ET ADORABLE FRERES ET SOEURS

Rahma, la prunelle de mes yeux, Djihad, la douce, au cœur si grand, Yamine l'aimable, Khaled la généreux, Ibtihal mon petite sœur que j'adore.

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À MES CHERS NIECES

Abd samed, Tassbih, Nourcine, Mohamed, Sedjoud et Mehdi.

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser votre tour vos vœux les plus chers.

A MA TRES CHERES AMIES FATIMA, INSAF, KARIMA ET KHAWLA.

Mes amies fidèles, qui m'ont assistés dans les moments difficiles et m'ont pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles....

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Votre Maroua

NOMENCLATURE

C : La concentration en sels	[mol.m ⁻³]
R_g : La constante des gaz parfaits	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]
T : La température	[K°]
R_s : La résistance série, R_p : La résistance shunt	[Ohm]
I_{PV} : Le courant de sortie fournie par le module photovoltaïque	[A]
I_{ph} : Le courant génère par la cellule solaire lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil	[A]
I_p : Le courant circulant dans la résistance R_p	[A]
I_D : Le courant de la diode	[A]
I_0 : Le courant de saturation inverse de la diode	[A]
V_{PV} : La tension de sortie du modèle	[V]
V_t : La potentielle thermodynamique	[V]
K : La constante de Boltzmann	[J/K]
V_s : La tension moyenne de sortie de l'hacheur	[V]
V_e : La tension moyenne d'entrée de l'hacheur	[V]
L : Une inductance	[H]
C : Une capacité	[F]
$[V_{abcs}]$: Vecteur des tensions des phases statoriques de la MAS	[V]
$[V_{abcr}]$: Vecteur des tensions des phases rotoriques de la MAS	[V]
$[I_{abcs}]$: Vecteur des courants des phases statoriques de la MAS	[A]
$[I_{abcr}]$: Vecteur des courants des phases rotoriques de la MAS	[A]
$[R_s]$: Matrice résistance du stator, $[R_p]$: Matrice résistance du rotor	[Ohm]
$[\varphi_s]$: Vecteur des flux statoriques, $[\varphi_r]$: Vecteur des flux rotoriques	[Wb]
M : Mutuelle inductance entre phases de la MAS	[H]
C_e : Le couple électromagnétique	[N.m]
J : Le moment d'inertie	[kg.m ²]
C_r : Le couple résistant, C_f : Le couple de frottement	[N.m]

NOMENCLATURE

Q : Le débit	[m ³ /s]
P : La pression	[Pa]
ρ : Le masse volumique du fluide	[kg/m ³]
g : L'accélération de la pesanteur	[m/s ²]
H : L'hauteur manométrique	[m]
Ω : La vitesse de rotation de l'arbre de la pompe	[rd/s]
A : La perméabilité de la membrane à l'eau	[kg.m ⁻² .s ⁻¹ .Pa ⁻¹]
ΔP : La pression transmembranaire exercée par la pompe	[Pa]
$\Delta\pi$: La pression d'osmose	[Pa]
C_{NaCl} : La concentration de l'eau à dessaler en sel	[mg/l]
T_{NaCl} : La température de la solution concentrée	[C°]
K_{nacl} : La constante osmotique du Na cl	[bar.l/°k.g]
T_0 : La température de référence	[298 K°]
R_g : La constante des gaz parfaits	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]
e : l'énergie d'activation de la membrane	[J.mol ⁻¹]
S : La surface active de la membrane	[m ²]
Q_p : Le débit du perméat (l'eau produit)	[m ³ /s]
Q_f : Le débit de l'eau d'alimentation	[m ³ /s]
ω_r : La pulsation rotorique, ω_s : statorique et ω : mécanique	[rad/s]
ϕ : flux du machine asynchrone triphasée	[Wb]
i : Le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte	
V_{dc} : tension au bus continu	[V]
I_{dc} : courant à l'entrée de bus continu	[A]
I_s : courant à la sortie du bus continu	[A]
I_{s-ref} : courant de référence à la sortie du bus continu	[A]
I_c : courant de charge de la capacité	[A]
I_{c-ref} : courant de charge de référence de la capacité	[A]

T_s : couple statique de la pompe [N.m]

D : Diode.

N_s : Le facteur d'idéalité de la jonction.

X : peut être la tension, le courant ou le flux.

k, δ et τ des constantes.

[T]: La matrice de transformation directe de Park.

$[T^{-1}]$: La matrice de transformation inverse de Park.

Θ : L'angle électrique

T_r : Le couple statique.

C_p : La concentration et les indices w, m, p, s se réfèrent respectivement à l'eau, à la surface de la membrane, au perméat et au soluté.

R : Le taux de recouvrement de la membrane.

Y : Taux de rétention.

A_{ref} : Le facteur de perméabilité de référence de la membrane donné par le constructeur.

ABREVIATION :

MENA : La région Moyen-Orient et Afrique du nord.

$CaCO_3$: Le carbonate de sodium.

$CaSO_4$: Le sulfate de calcium.

$MgCO_3$: Le carbonate de magnésium.

NaCl : Le chlorure de sodium.

MSF : Distillation Multi flash.

MED : Distillation Multi-Effets.

VC : Compression de vapeur.

OI (RO) : Osmose Inverse.

ED : Electrodialyse.

MVC : Compression Mécanique de la Vapeur.

HP : Haute pression.

MAS : un moteur asynchrone.

MLI : Modulation de largeur d'impulsion.

GPV : générateur photovoltaïque.

PV : photovoltaïque.

MED (MEB) : ébullition multi-effets.

MSF : Multi-Stage Flash.

MFWH : Multi-Flash with Heaters.

DC : le courant continue.

TCF : Le facteur de correction de la température.

FF : le facteur de colmatage (Fouling Factor) qui varie entre 100% pour une nouvelle membrane et 80% pour 4 ans de fonctionnement.

PI : Proportionnel-Intégral

Liste des figures

Figure I.1 la demande d'eau dans les pays MENA (2000-2009).....	3
Figure I.2 la demande d'eau dans les pays MENA (2020–2050).....	4
Figure I.3 : Production d'eau dessalée.).....	4
Figure I.4 : Répartition de la capacité mondiale de dessalement.....	5
Figure I.5 : Schéma général d'une installation de dessalement.....	10
Figure I.6 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	11
Figure I.7 : La pression osmotique d'une eau à 20°C en fonction de la concentration.....	12
Figure I.8: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	12
Figure I.9 : Membrane en spirale.....	13
Figure 1.10 : Évolution de dessalement par les énergies renouvelables.	14
Figure 1.11 : Schéma d'une station de dessalement solaire photovoltaïque-thermique.....	16
Figure 1.12 : schéma d'une installation de dessalement éolien.....	17
Figure 1.13 Schéma représentatif du système de dessalement éolien.....	17
Figure1.14 : installation géothermique de Baja Mexique.....	19
Figure II.1 Schéma représentatif du système de dessalement solaire photovoltaïque.....	20
Figure II.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	22
Figure II.3 représente la courbe $I = f(V)$ et $P=f(V)$	24
Figure II.4 : Influence du variation de l'éclairement sur le caractéristique I-V.....	25
Figure II.5 : Influence du variation de l'éclairement sur le caractéristique P-V.....	25
Figure II.6 : Principe de base d'un hacheur.....	26
Figure II.7 : Schéma de base d'un convertisseur Buck.....	27
Figure II.8 : Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck.....	27
Figure II.9 : Schéma électrique d'un hacheur Buck fermé.....	28
Figure II.10 : Circuit équivalent du Buck quand l'interrupteur est ouvert.....	28
Figure II.11 : Représentation électrique d'une machine asynchrone triphasée.....	30
Figure II.12: représentation angulaire des systèmes d'axes dans l'espace électrique.....	31
Figure II.13 : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.....	35
Figure II.14 : Courbe caractéristique Pression-débit de la pompe HP pour différentes fréquences.....	37

Figure II.15 : Caractéristique du couple résistant de la pompe.....	38
figure III.1 : Représent l'allure de puissance-tension (P-V) sous l'éclairement $E=1000$ W/m^2	43
figure III.2 : Représent l'allure de courant-tension (I-V) sous l'éclairement $E=1000$ W/m^2	43
Figure III.3 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.....	44
Figure III.4 : Recherche du PPM par la méthode (P&O).....	45
Figure III.5 : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation.....	46
Figure III.6: modèle simulation de la commande MPPT.....	46
Figure III.7 principe de l'orientation du flux rotorique.....	48
Figure III.8 : Schéma bloc de régulation de la tension au bus continu.....	50
Figure III.9 : Schéma –bloc de génération du courant I_{q-ref}	51
Figure III.10 : Schéma bloc de la boucle de régulation du flux.....	51
Figure III.11 : Modèle de simulation du système de dessalement.....	52
Figure III.12 : le profil de l'éclairement solaire.....	52
Figure III.13 : l'effet de variation de l'éclairement sur le courant I_{pv}	53
Figure III.14 : l'effet de variation de l'éclairement sur la tension V_{pv}	53
Figure III.15 : l'effet de variation de l'éclairement sur la puissance de GPV.....	54
Figure III.16 : Allure de la tension V_{dc}	55
Figure III.17 : Modèle de simulation de la MAS, la pompe et l'unité RO.....	56
Figure III.18 : l'allure de courant de phase.....	56
Figure III.19 : l'allure de courant direct en quadrature.....	57
Figure III.20: montré le couple électromagnétique de MAS.....	57
Figure III.21: représenté le couple résistant de MAS.....	57
Figure III.22 : La vitesse mécanique de MAS.....	58
Figure III. 23: représenté l'effet de variation sur la pression.....	60
Figure III.24 : représenté l'effet de variation sur le débit.....	60
Figure III.25 : Représenté l'effet de variation de l'éclairement sur le débit permeat.....	61
Figure III.26 : L'effet de variation de l'éclairement sur le taux de recouvrement.....	62

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les 10 pays utilisant le plus le dessalement de l'eau de mer.....	5
Tableau I.2 : liste des installations de dessalement (1971-2015).....	6
Tableau I.3 : Les principaux procédés de dessalement.....	9
Tableau I.4 : Combinaison entre le système d'énergie renouvelable et les techniques de dessalement.....	15
Tableau III.1 : Caractéristiques du module KC-60.....	42
Tableau III.2 : Caractéristiques de générateur photovoltaïque utilisé.....	42

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : situation de dessalement dans le monde et en Algérie	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Situation de dessalement dans le monde et en Algérie.....	3
I.2.1 Le manque de l'eau potable dans le monde.....	3
I.2.2 Capacité de dessalement installée à l'échelle mondiale.....	5
I.2.3 Situations de dessalement en Algérie.....	6
I.2.3.1 L'eau en Algérie.....	6
I.2.3.2 Les installations de dessalement en Algérie.....	6
I.3 Présentation des types de dessalement.....	8
I.3.1 Type d'eau à dessaler.....	8
I.3.1.1 L'eau de mer.....	8
I.3.1.2 L'eau saumâtre.....	8
I.3.2 Les principales technologies de dessalement des eaux.....	9
I.3.2-1procédé de L'osmose inverse.....	10
I.3.2.1.1 Qu'est-ce que l'osmose inverse?	10
I.3.2.1.2 principes de l'osmose inverse.....	11
I.3.2.1.3 Pression osmotique.....	11
I.3.2.1.4 Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	12
I.3.2.1.5 Description de la membrane RO.....	13
I.4 Sources d'énergie pour le dessalement.....	14
I.4.1 l'énergie solaire.....	15
I.4.2 Énergie éolienne.....	16
I.4.3 Énergie géothermique.....	18
I.5Conclusion.....	19
Chapitre II : configuration et modélisation du système de dessalement	
II.1 Introduction.....	20

SOMMAIRE

II.2 Configuration du système de dessalement.....	20
II.3 modélisation mathématique du système	21
II.3.1 modèles du PV	21
II.3.1.1 Modélisation des cellules PV.....	21
II.3.1.1.1 Circuit équivalent.....	22
II.3.1.1.2 L'équation caractéristique (I-V, P-V).....	23
II.3.1.1.2.1 Méthode de <i>Newton-Raphson</i>	23
II.3.1.1.2.2 Influence de l'éclairement sur la caractéristique.....	25
II.3.2 Modèle du hacheur.....	26
II.3.2.1 Hacheur dévolteur (ou Buck)	26
II.3.2.2 Modèle mathématique équivalent.....	27
II.3.3 Modèle de la machine asynchrone (MAS).....	29
II.3.3.1 Mise en équation du modèle de la machine.....	30
II.3.3.2 Équations de la machine dans le plan Park.....	31
II.3.3.3 Modèle mécanique de l'arbre.....	32
II.3.3.4 Choix du repère (d, q).....	32
II.3.3.4.1 Référentiel fixe par rapport au stator.....	33
II.3.3.4.2 Référentiel fixe par rapport au rotor.....	33
II.3.3.4.3 Référentiel lié au champ tournant.....	34
II.3.4 Modèle de la pompe a haut pression.....	34
II.3.4.1 Description d'une pompe centrifuge simple.....	34
II.3.4.2 Caractéristiques fondamentales de la pompe.....	35
II.3.4.2.1 Caractéristiques : Hauteur – Débit.....	36
II.3.4.2.2 Caractéristique du couple.....	38
II.3-5 Modèle de la membrane d'osmose inverse.....	38
II.4 Conclusion.....	41

SOMMAIRE

Chapitre III : les approches de commande et résultats de simulation.

III.1 Introduction.....	42
III.2 commande MPPT du GPV.....	42
III.2.1 Caractéristique D'un générateur Photovoltaïque	42
III.2.2Principe De La Commande MPPT	44
III.2.2.1Perturbation Et Observation (P&O, Perturbe And Observe)	45
III.3 Commande de la machine asynchrone.....	47
III.3.1Principe de la commande vectorielle.....	47
III.3.2Conception des contrôleurs de la MAS	49
III.3.2.1Régulation du couple	49
III.3.2.1.1Régulation de la tension au bus continu	49
III.3.2.1.2Régulation du courant en quadrature	50
III.3.2.1.3 Régulation du flux.....	51
III.4.résultats de simulation	51
III.4.1 Résultats de simulation de système de dessalement	52
III.4.1.1Résultats de simulation de GPV.....	53
III.4.1.2 Résultats de simulation de l'hacheur	55
III.4.1.3 Résultats de simulation de MAS.....	56
III.4.1.4Résultats de simulation de la pompe HP.....	60
III.4.1.5 Résultats de simulation de module RO.....	61
III.5 Conclusion	63

Introduction générale

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir.

Devant aussi une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace l'existence même de l'homme. Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable.

En effet, le développement des sources d'énergie renouvelables (photovoltaïque, photo-thermique, photo-thermodynamique, éolien, hydraulique, géothermie, biomasse - énergie, etc.) en particulier l'énergie photovoltaïque qui produit l'énergie électrique qui doit alimenter le procédé de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer et satisfaire les besoins de la population croissante de l'eau potable.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de donner les détails de conception du dessalement au fil de soleil, assurer la commande de l'interface de puissance, aussi d'optimiser le transfert de l'énergie dans un système photovoltaïque tout en produisant de l'eau dessalée ; Ce manuscrit s'articule autour de trois chapitres qui sont classés comme suit :

Le premier chapitre nous montre le manque d'eau potable dans le monde et en Algérie, parmi les solutions en cours de développement est le dessalement de l'eau à membrane (osmose inverse) et l'intégration des énergies renouvelables comme source pour ce procédé.

Le deuxième chapitre, la configuration et la modélisation de système de dessalement. nous avons choisi l'énergie solaire photovoltaïque comme une source d'alimentation de ce système et nous présenterons les modèles de tous les composants du système, le générateur

Introduction générale

photovoltaïque, le convertisseur DC/DC, la machine asynchrone, la pompe à haute pression et l'unité d'osmose inverse.

Le troisième chapitre, nous introduisons les approches de commande et les résultats de simulation, pour améliorer les performances du système, nous proposons la commande(MPPT) du générateur photovoltaïque pour la recherche du point de puissance maximale, et la commande vectorielle de la machine asynchrone et nous terminerons ce chapitre par les résultats de simulation par l'outil de MATLAB/SIMULINK en les discutant.

Une conclusion des travaux présentés dans cette thèse est formulée avec la perspective d'améliorer ses fondements.

I.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu sur le dessalement dans le monde est plus particulièrement en Algérie. Nous rappellerons les techniques de dessalement en général, et l'osmose inverse en particulier et l'association de ces procédés de dessalement renouvelable.

I.2 Situation de dessalement dans le monde et en Algérie

I.2.1 Le manque de l'eau potable dans le monde

Beaucoup de régions dans le monde souffrent du manque en eau douce, à savoir les régions arides et désertiques où l'accessibilité à l'eau de rivière devient presque impossible. Malgré des progrès importants, le problème de l'eau potable se pose toujours et représente un enjeu technique, économique et politique majeur du XXIème siècle. [1]

La région Moyen-Orient et Afrique du nord (MENA) est l'une des régions les plus touchées par le manque d'eau (figure I.1). En un peu plus de 25 ans, entre 1975 et 2001, la quantité d'eau douce disponible pour un citoyen de la région MENA a été réduite de moitié, de 3000 m³/habitant à 1500 m³/habitant [2]. Une étude de la Banque Mondiale a révélé que, l'écart de la demande d'eau dans les pays MENA quintuplera d'ici 2050, passant de 42 km³ par an à environ 200 km³ par an [7] (figure I.2).

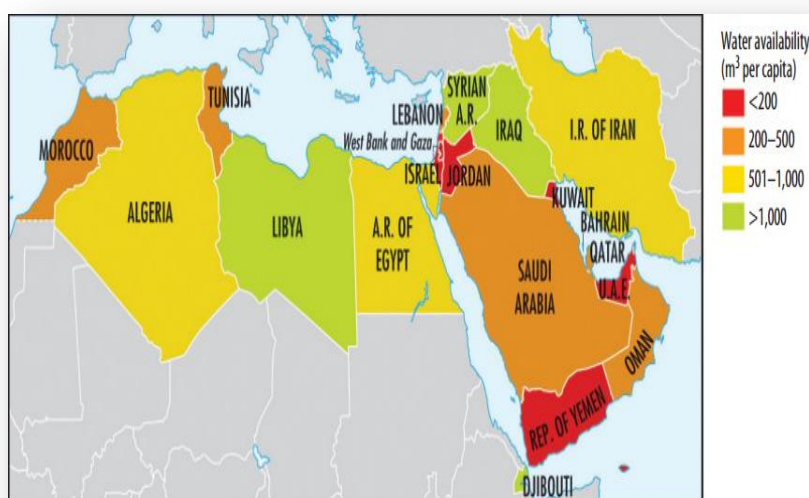


Figure I.1 : la demande d'eau dans les pays MENA (2000-2009)

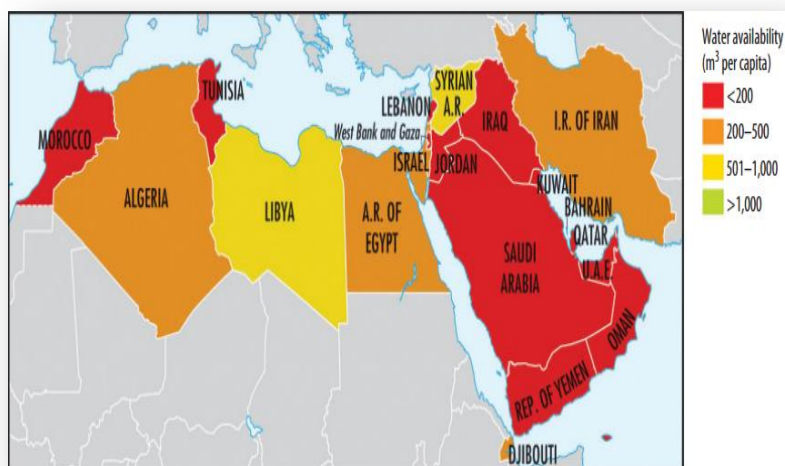


Figure I.2 : la demande d'eau dans les pays MENA (2020–2050).

Parmi les solutions en cours de développement pour palier au problème des ressources en eau, deux présentent un intérêt particulier : la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture et le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. [1]

Le marché de dessalement se développe rapidement pour répondre à la demande croissante en eau, en utilisant de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. La capacité installée était de $60 \text{ M}^3/\text{jour}$ en 2010, et elle a presque doublé en 2015. Une capacité de $38 \text{ Mm}^3/\text{jour}$ est installée dans la région du Golfe et $59 \text{ Mm}^3/\text{jour}$ dans le reste du monde, comme le montre (la Figue I.3) [2].

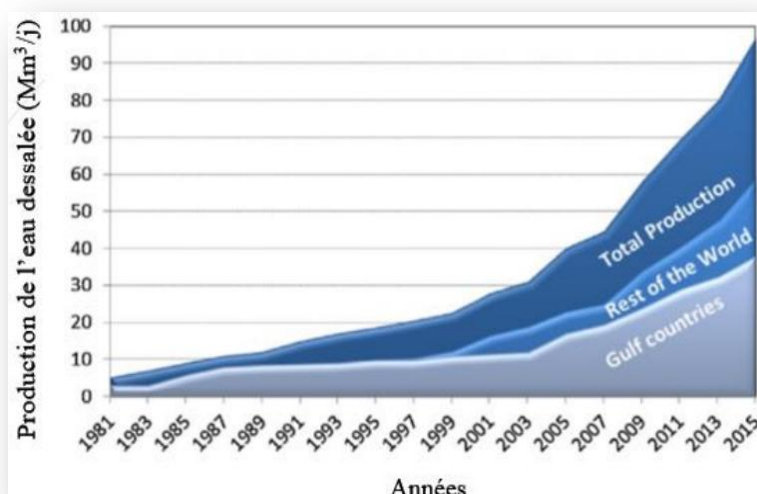


Figure I.3 : Production d'eau dessalée

I.2.2 Capacité de dessalement installée à l'échelle mondiale

La capacité de production des usines de dessalement dans le monde a connu une augmentation rapide ces dernières décennies [3]. La majorité des installations de grandes capacités de production sont installées au Moyen Orient, et le dessalement de l'eau de mer dans la région du Golfe représente 65 % de la capacité mondiale de dessalement (Figure I.4) [2]. Le tableau I.1 regroupe les dix pays utilisant l'eau de mer comme source principale de dessalement.[3]

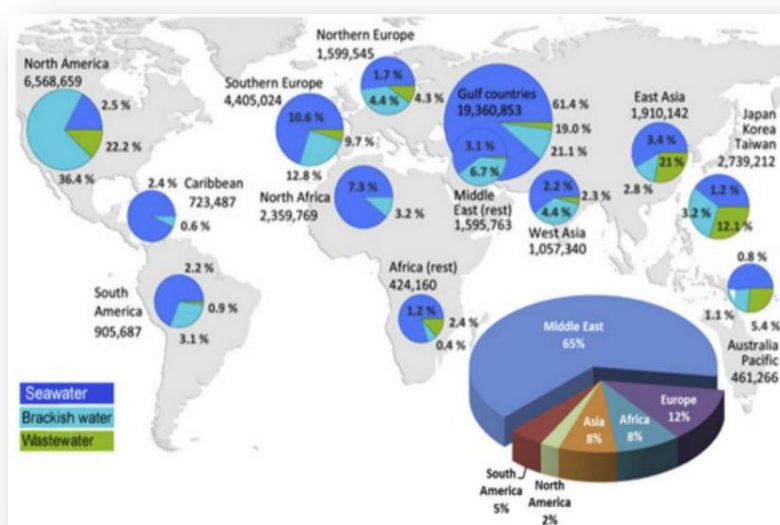


Figure I.4 : Répartition de la capacité mondiale de dessalement

Tableau I.1 : Les 10 pays utilisant le plus le dessalement de l'eau de mer

Pays	Capacité (Millions de m3/j)
Arabie Saoudite	7,4
UAE	7,3
Espagne	3,4
Kuwait	2,1
Qatar	1,4
Algérie	1.1
Chine	1.1
Libye	0.8
USA	0.8
Oman	0.8

I .2 .3 Situations de dessalement en Algérie

I .2 .3.1 L'eau en Algérie

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km² et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité environ 60×10³ milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; or de 4 à 5 milliards de m³ seulement sont exploitables annuellement malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtre. [1]

Pour répondre aux exigences nationales en matière de ressources en eau, il est décidé par les pouvoirs publics de faire recours au dessalement de l'eau de mer comme ressource stratégique fiable non assujettie aux risques de raréfaction. [6]

I .2 .3.2 Les installations de dessalement en Algérie

Dans le tableau suivant on donne la liste des installations de dessalement mis en service entre (1971 et 2015). En ce qui concerne les procédés utilisés, on retrouve l'ensemble des procédés classiques de déminéralisation : électrodialyse, échange des ions, distillation et l'osmose inverse. [6]

Station	Capacité (m ³ /j)	Procédé	Mise en service
Skikda	1440	Flash	1971
Skikda	720	Flash	1971
Skikda	1440	Echangeur d'ion	1971
Annaba	960	Echangeur d'ion	1971
Annaba	3600	Echangeur d'ion	1973
Ghazaouat	480	Echangeur d'ion	1974
Arzew	3888	Electrodialyse	1975
Arzew	960	Echangeur d'ion	1975
Hassi mesaoud	1000	Electrodialyse	1975
Hassi mesaoud	100	Electrodialyse	1976
Gassi touil	55	Electrodialyse	1977
Arzew	350	Thermo-compression	1978
Annaba	14180	Multi-flash	1978

Hassi Mesaoud	350	Electrodialyse	1978
Bel Abbes	1500	Echangeur d'ion	1978
Haoud Berkaoui	55	Electrodialyse	1979
Hassi Mesaoud	300	Electrodialyse	1979
Rhourd El Baguel	25	Electrodialyse	1979
Arzew	960	Multi-flash	1979
Annaba	144	Echangeur d'ion	1979
Annaba	576	Echangeur d'ion	1979
Hassi-Rmel	792	Osmose d'inverse	1979
Annaba	6240	Echangeur d'ion	1980
Ghardaia	960	Osmose d'inverse	1980
Arzew	960	Multi-flash	1980
Mostaganem	57600	Osmose d'inverse	1980
Rhourd El Baguel	300	Electrodialyse	1981
Biskra	864	Osmose d inverse	1981
Annaba	1800	Echangeur d'ion	1981
Reghaia	160	Echangeur d'ion	1982
Oran	3400	Osmose inverse	2005
Skikda	100000	Osmose inverse	2005
Bou Ismail	5000	Osmose inverse	2005
Hamma	200 000	Osmose inverse	2008
Douaouda(Tipaza)	200 000	Osmose inverse	2008
Ain timouchent	100000	Osmose inverse	2009
Djinet (Boumerdés)	100000	Osmose inverse	2012
Fouka(Tipaza)	120 000	Osmose inverse	2011
Tnése	200000		2015

Tableau I.2 : liste des installations de dessalement (1971-2015).

Le ministère de l'énergie, a indiqué que des instructions fermes ont été données pour engager les travaux de réalisation de quatre station de dessalement d'eau de mer à Zeralda avec une capacité de 300 000 m³/jour El Taref (300 000 m³/jour), Béjaia (70 000 m³/jour) et skikda avec une capacité de 70 000 m³/jour.[15].

I .3 Présentation des types de dessalement

I .3.1 Type d'eau à dessaler

Les eaux sont classées en fonction de plusieurs paramètres. On peut les classer en fonction des quantités de matières dissoutes (salinité) qu'elles contiennent [14]. En générale il y a deux types des eaux : l'eau de mer et saumâtre.

I .3.1.1 L'eau de mer :

Plus de 99.99% des espaces dissoutes dans l'eau de mer sont des sels. L'eau de mer est composée d'une soixantaine d'élément dont : chlore, sodium, magnésium, calcium, potassium, brome, strontium, bore et fluor ainsi que des sulfates.

La concentration totale en sels dissous est appelée la « salinité ». La salinité totale des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/l. Elle peut néanmoins subir des variations plus ou moins importantes suivant la position géographique, la profondeur et la température.

Pour les mers fermées ou ouvertes, les valeurs de salinité peuvent être très différentes :

- 7 g/l en mer Baltique
- 13 g/l dans la Caspienne
- 20 g/l en mer Noire
- 36 à 39 g/l en mer méditerranée
- 40 g/l dans la mer Rouge
- 40 à 70 g/l dans le Golfe arabe et jusqu'à 270 g/l dans la mer Morte.

I .3.1.2 L'eau saumâtre :

Une eau saumâtre est une eau saline, mais avec une teneur en sel inférieure à celle de l'eau de mer. Généralement, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité allant de 1 à 10 g/l. Cette eau peut se trouver soit en surface ou en profondeur. La composition et la qualité des eaux saumâtres (eau souterraine ou de surface) sont à l'origine liées à la nature géologique du terrain, elle varie d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre. Les principaux sels qui peuvent être dissous en quantité importante sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 , et le NaCl . [2]

I.3.2 Les principales technologies de dessalement des eaux

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre devient un élément essentiel pour l'approvisionnement en eau douce et constitue une source durable pour un plus grand nombre de communautés à travers le monde. Au fur et à mesure que l'industrie du dessalement se développe, plusieurs procédés de dessalement ont été mis en œuvre dans le marché mondial. [3]

Les procédés de dessalement peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés avec changement de phase dits procédés thermiques qui ont une forte consommation énergétique et les procédés sans changement de phase dits procédés membranaires. Les procédés thermiques sont principalement des procédés de distillation. Les procédés membranaires consistent à séparer les sels de l'eau de mer au moyen de membranes sélectives. Ils n'impliquent pas de changement de phase et peuvent fonctionner à température ambiante. Deux procédés membranaires sont actuellement utilisés en dessalement : l'osmose inverse et l'électrodialyse. [1]

Le tableau suivant résume les différents procédés de dessalement. [2]

Technologie thermique	Technologie membranaire
Distillation Multi flash (MSF)	Osmose Inverse (OI)
Distillation Multi-Effets (MED)	Electrodialyse (ED)
Compression de vapeur (VC)	

Tableau I.3 : Les principaux procédés de dessalement.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Une installation de dessalement (Figure I.5) peut être schématiquement subdivisée en quatre étapes : une prise d'eau, un poste de prétraitement, l'installation de dessalement proprement dite et un poste-traitement.[3]

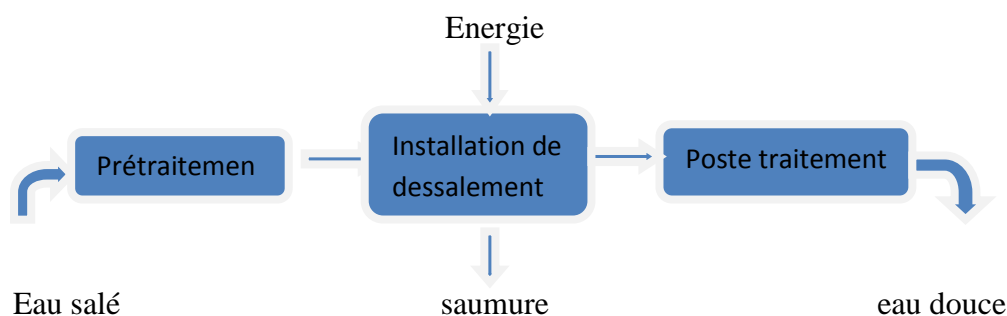


Figure I.5 : Schéma général d'une installation de dessalement.

- Une prise d'eau de mer ou saumâtre avec une pompe et une filtration grossière,
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- Le procédé de dessalement lui-même,
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. [4]

I.3.2.1procédé de L'osmose inverse

I.3.2.1.1Qu'est-ce que l'osmose inverse?

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10-7 mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression. [4]

I.3.2.1.2 principe de l'osmose inverse:

L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau au travers des membranes semi-perméables, sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer. [5]

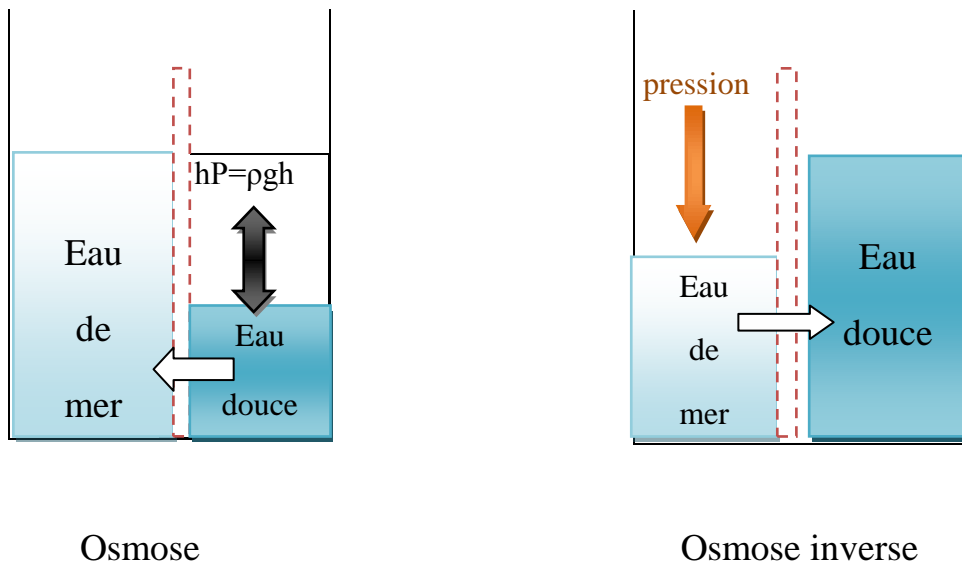


Figure I.6 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [4]

I .3.2.1.3 Pression osmotique:

La pression osmotique peut être calculée par la loi de **Van't Hof** qui exprime que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume (V) et à la même température (T). Si le soluté est dissocié en *i* ions, la pression osmotique sera *i* fois supérieure.[5]

$$\pi = i . C .R_g .T \quad (1.1)$$

Avec :

- *i* est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte.
- *C* est la concentration en sels en mol.m⁻³.
- *R_g* est la constante des gaz parfaits *R_g* = 8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹
- *T* est la température absolue de la solution en Kelvin.

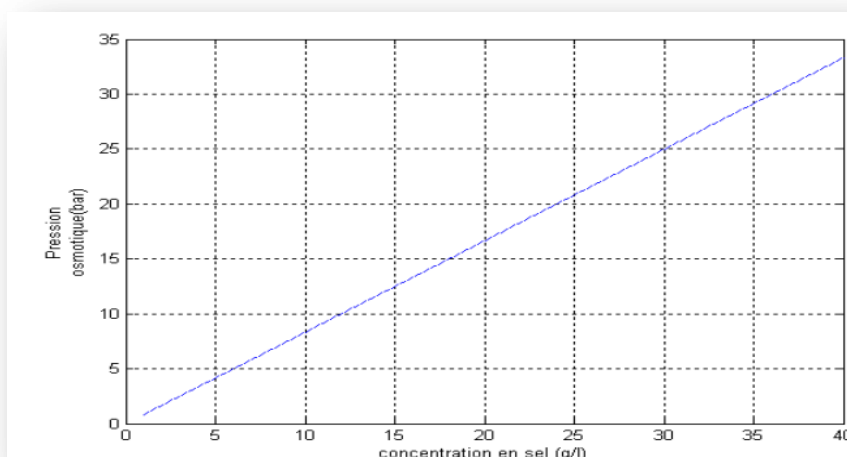


Figure I.7 : La pression osmotique d'une eau à 20°C en fonction de la concentration. [4]

I.3.2.1.4 Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse:

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur (la figure I.6)

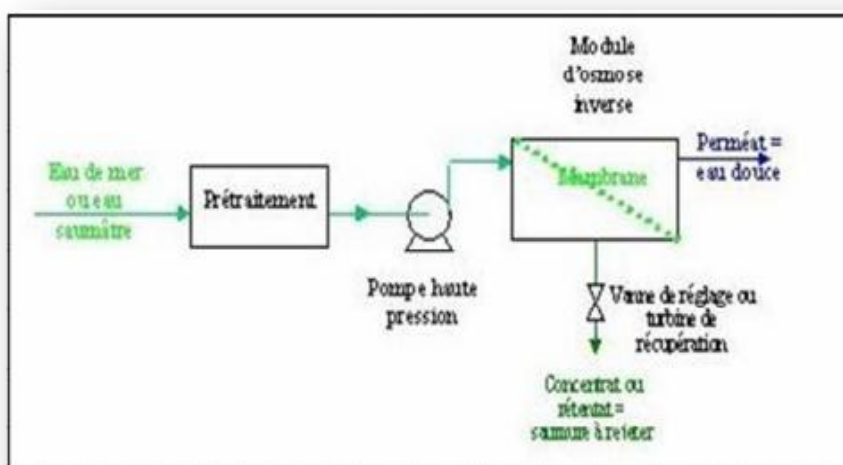


Figure I.8: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [3]

L'alimentation en eau de mer Peut s'effectuer soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage le prétraitement [5]. Ce dernier est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse [4]. L'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars avant l'entrée dans les membranes d'O.I [5].

I.3.2.1.5 Description de la membrane RO :

Une membrane est une mince couche de matière permettant d'effectuer une séparation solide-liquide sélective à l'échelle microscopique lorsqu'elle est soumise à une force motrice. Cette force peut être générée par un gradient de pression, de concentration ou de potentiel électrique, de part et d'autre de la membrane. [5]

Les quatre types de modules disponibles dans le commerce RO sont tubulaires, plaque et cadre, enroulé en spirale et en fibres creuses. Les unités en spirale ont été favorisées en raison de leur utilisation généralisée, de faible coût et de disponibilité facile à partir d'un certain nombre de fabricants.

Un module enroulé en spirale est un sandwich de couches de la membrane et de la couche d'espacement enroulés autour d'un tube de collecte de l'eau produite (eau dessalée) (figure I.9). Les couches sont collées sur les bords, à l'exception de l'extrémité du tube de produit, qui est relié à une ouverture sur le tube. Comme la solution d'alimentation est pompée à travers le module, à haute pression à travers l'une de ses extrémités, le solvant traverse la membrane, dont la plupart des blocs rejette du soluté. Le solvant dans la zone de la couche d'espacement, se diffuse dans le tube collecteur, par lequel il quitte le module comme perméat. La solution d'alimentation, maintenant avec une concentration élevée du soluté passe à travers la sortie (l'extrémité opposée du module) comme retentât. [4].

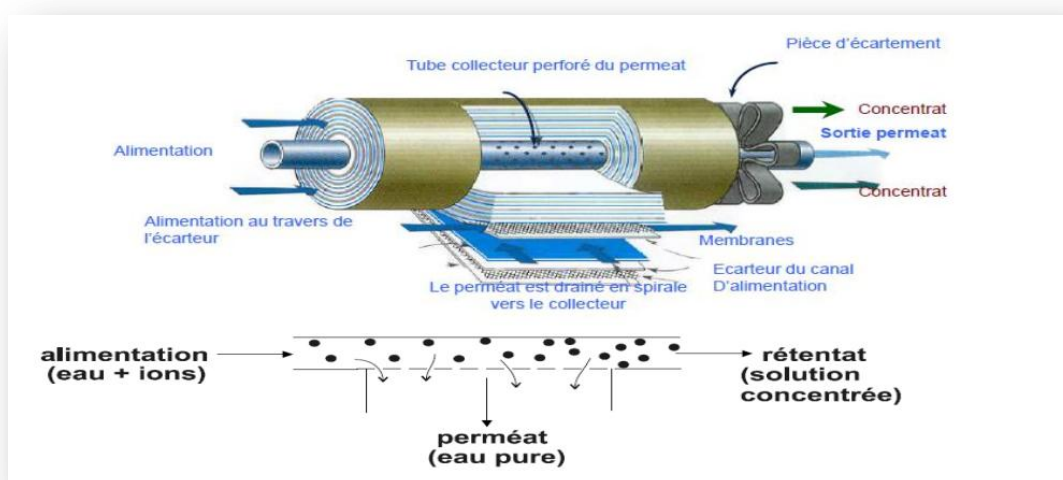


Figure I.9 : Membrane en spirale.

I.4 Sources d'énergie pour le dessalement

Diverses sources d'énergie renouvelable sont disponibles dans différentes régions du monde. Les principales sources d'énergies renouvelables utilisées pour le dessalement sont l'énergie solaire, l'éolien, la géothermie (figure I.10). [3]

Le choix de la source d'énergie appropriée pour les technologies de dessalement dépend d'un certain nombre de facteurs. Il s'agit notamment de la taille de l'usine, de la salinité de l'eau, de la disponibilité de l'électricité au réseau électrique, de l'infrastructure technique et du type et potentiel de la source locale d'énergie renouvelable. Parmi les nombreuses combinaisons possibles de technologies de dessalement et d'énergie renouvelable, certaines semblent être plus prometteuses en termes de faisabilité économique et technologique que d'autres. Cependant, leur application dépend fortement de la disponibilité locale des ressources énergétiques renouvelables et de la qualité de l'eau à dessaler. Le Tableau I.4 présente une combinaison entre les systèmes d'énergie renouvelable et les techniques de dessalement adéquat à chaque technique. [2]

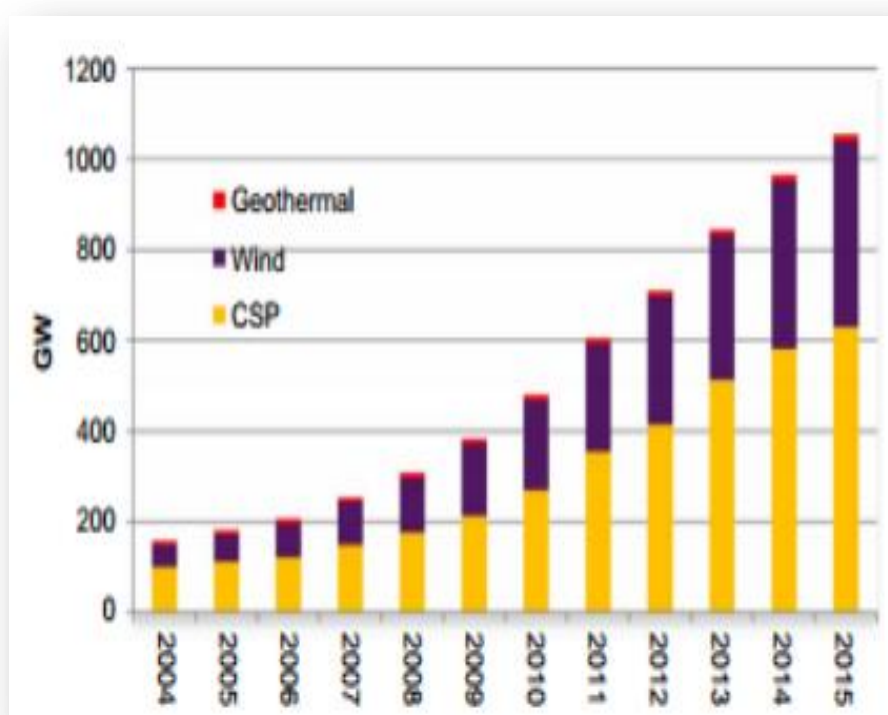


Figure 1.10 : Évolution de dessalement par les énergies renouvelables [3]

Système d'énergie renouvelable	Eau d'alimentation	Technologie de dessalement
Solaire thermique	Eau de mer	MSF
	Eau de mer	MED
Photovoltaïque	Eau de mer	Osmose Inverse (OI)
	Eau saumâtre	Osmose Inverse (OI)
	Eau saumâtre	Electrodialyse (ED)
Energie éolienne	Eau de mer	Osmose Inverse (OI)
	Eau saumâtre	Osmose Inverse (OI)
	Eau de mer	Compression Mécanique de la Vapeur (MVC)
Energie géothermique	Eau de mer	MED

Tableau I.4 : Combinaison entre le système d'énergie renouvelable et les techniques de dessalement.

I.4.1 l'énergie solaire :

L'énergie solaire est la forme d'énergie renouvelable la plus abondante à travers le monde. Plusieurs régions du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord reçoivent 5 à 7 kWh d'ensoleillement solaire chaque jour. La plupart de ces régions sont riches en eau de mer et saumâtre mais en même temps souffrent d'un manque d'eau douce, ce qui rend le dessalement par énergie solaire une des solutions les plus fiables pour couvrir leurs besoins en eau douce. En raison de sa disponibilité abondante et de la souplesse de sa conversion en énergie électrique ou thermique, l'énergie solaire a été l'objectif principal du dessalement par les énergies renouvelables [3]. Aristote écrivait : « l'eau salée lorsqu'elle se transforme en vapeur devient douce et la vapeur ne forme pas d'eau salée lorsqu'elle se condense à nouveau. »[16].

Le (Figure I.11) porte sur la réalisation d'une station autonome modulaire de dessalement des eaux saumâtres, couplant deux technologies de dessalement et deux technologies solaires. Le champ solaire est composé de panneaux solaires photovoltaïques et de panneaux solaires thermiques. La technologie de dessalement se

base sur la combinaison entre les procédés d’Osmose inverse et de la distillation membranaire sous vide [3].

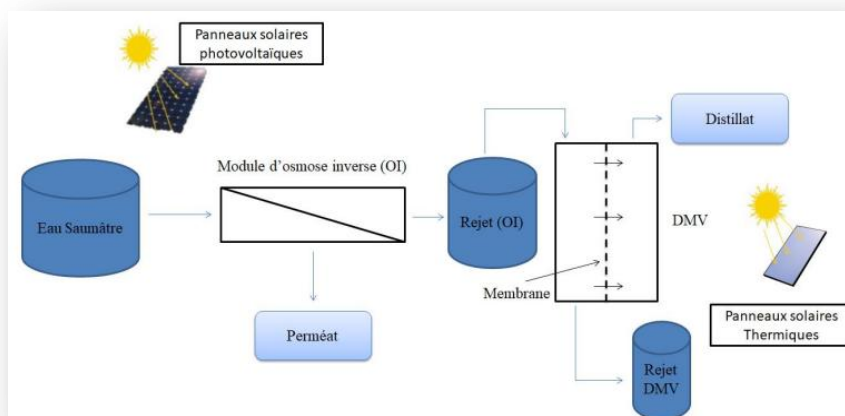


Figure I.11 : Schéma d’une station de dessalement solaire photovoltaïque-thermique

La chaleur est transportée entre les différentes étapes où chaque étape récupère la chaleur de l’étape précédente. Le distillat produit, est récupéré à chaque étape dans le condenseur. La pression de vapeur et la température diminuent graduellement de l’évaporateur au condenseur. La chaleur provenant de la source de l’échangeur thermique permet d’évaporer l’eau à traiter et produire de la vapeur chaude qui coule au premier effet, tandis que l’alimentation est également introduite dans le premier effet et coule en série à travers les étapes restantes. La basse pression de l’effet porte l’eau d’alimentation à ébullition à une température réduite, et la vapeur d’eau passe à travers la membrane. Le vide est toujours appliqué au côté perméat des membranes. La vapeur se condense ensuite pour produire le distillat, livrant sa chaleur à l’étape suivante. À chaque étape, l’eau distillée est extraite et le flux d’alimentation se concentre plus loin. La vapeur produite dans l’étape finale est condensée à l’aide d’un courant d’eau de refroidissement dans le condenseur. [3].

I.4.2 Energie éolienne :

L’éolien est l’une des énergies renouvelables alternatives les plus prometteuses pour le dessalement. Le vent est une forme indirecte de l’énergie solaire : généré par les différences de pression atmosphérique, entraînées par l’énergie solaire. Cette énergie permet de générer de l’électricité dans des éoliennes, appelées aussi aérogénérateurs,

grâce à la force du vent. L'énergie éolienne est une énergie qui n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, qui est le vent, est disponible partout et gratuitement.[2]

La figure suivante explique le dessalement éolien, la turbine éolienne est utilisée pour produire l'électricité qui alimente l'usine de dessalement de l'eau de mer.

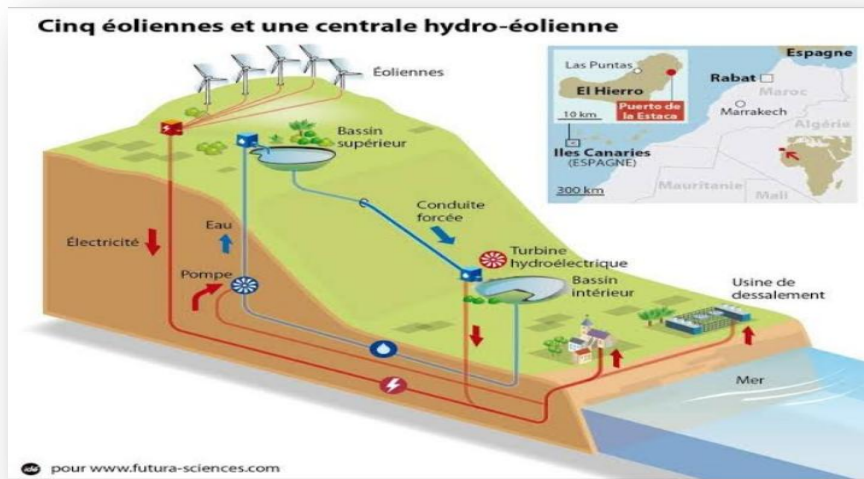


Figure I.12 : schéma d'une installation de dessalement éolien

Le système de dessalement renouvelable éolien se présente comme suit [4]:

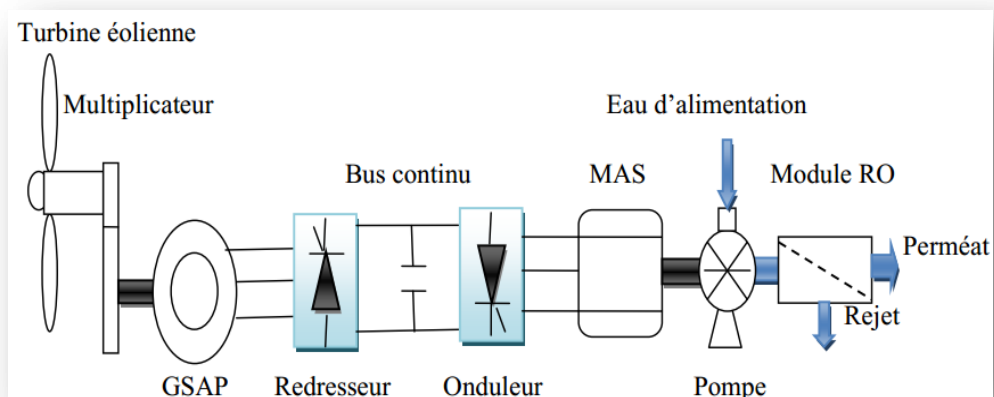


Figure I.13 : Schéma représentatif du système de dessalement éolien

- a- Un générateur composé d'une turbine éolienne entraînant une machine synchrone à aimant permanent fonctionnant en mode générateur. L'accouplement est assuré par le biais d'un multiplicateur qui a pour rôle l'augmentation de la vitesse de la GSAP

- b- Un convertisseur à MLI (redresseur) permettant de redresser la tension à la sortie de la GSAP au bus continu.
- c- Un convertisseur MLI (onduleur) relié à l'autre côté du bus continu. Il a pour fonction de maintenir la tension au bus continu et assurer le fonctionnement de la machine à induction à la puissance maximale que peut fournir la turbine éolienne.
- d- un moteur asynchrone(MAS) alimenté par l'onduleur et qui sert à entraîner une pompe haute pression (HP).
- e- une pompe haute pression entraînée par la MAS qui alimentera le module d'osmose inverse en eau saumâtre.
- f- Un module d'osmose inverse(RO).

I.4.3 Energie géothermique :

L'énergie géothermique est la forme d'énergie renouvelable stockée dans la terre qui peut être pompée sous forme de vapeur et d'eau chaude, et qui peut ensuite, être utilisée pour produire de l'électricité. Une grande variation de la température de la terre, allant de la température ambiante à bien au-dessus de 150 °C, permet d'utiliser l'énergie géothermique pour une large gamme d'applications. Les puits géothermiques de plus de 100 m de profondeur peuvent être exploités pour le dessalement. Bien que la capacité nette installée soit inférieure à l'énergie éolienne, la possibilité d'utiliser l'énergie géothermique directement pour le dessalement est un atout pour cette technologie. Plusieurs études de cas ont été citées dans la littérature montrant le potentiel technico-économique de l'énergie géothermique pour le dessalement [3]. à tout fins utile , le processus est similaire au processus de base d'humidification –dés humidification du dessalement solaire , mais l'énergie thermique provient du sol dans ce cas[16].

La figure (I.14) suivant représente placements avec eau de mer chaude à 50 m de profondeur dans la péninsule de Baja au Mexique. L'eau chaude a été utilisée dans un échangeur de chaleur pour chauffer l'eau de mer propre puis pour diminuer la pression pour produire une évaporation instantanée dans un ensemble à plusieurs étages de chambres. L'innovation introduite dans la conception était l'utilisation d'eau de mer chaude pour chauffer toutes les chambres, pas seulement la première comme dans une usine classique de flash à plusieurs étages (MSF). L'innovation peut être considérée comme une combinaison de distillation / ébullition multi-effets (MED ou MEB) et Multi-Stage Flash (MSF), appelé «Multi-Flash with Heaters» (MFWH). Préliminaire les résultats indiquent que pour une température initiale de 150 ° C, 4m³ d'eau de mer sont

nécessaires pour produire 1m³ d'eau dessalée. A une température initiale de 80 ° C, 14 m³ étaient nécessaires [17].



Figure I.14 : installation géothermique de Baja Mexico

I .5Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la situation de dessalement dans le monde et en Algérie ainsi, on a vu que le dessalement est l'une des solutions éprouvées et sûres pour la mobilisation de ressources en eau supplémentaires et on explique le procédé de l'osmose inverse c'est ce qui nous aide de proposer une configuration de notre système dans le chapitre suivant.

II.1 Introduction :

Les systèmes de dessalement à énergie renouvelables dépendent de plusieurs facteurs tels que la disponibilité de ressource d'énergies renouvelables, la présence de stockage hydraulique et de la qualité d'eau à dessaler. Dans ce chapitre nous présenterons la configuration de notre système de dessalement solaire photovoltaïque.

II.2 Configuration du système de dessalement :

Pour notre système, l'énergie solaire photovoltaïque est choisie comme source d'alimentation pour une unité d'osmose inverse en considérant que l'énergie solaire pourrait constituer une alternative durable pour le fonctionnement des usines de dessalement [3], ces technologies prouvées, de plus en plus maîtrisées et économiquement prometteuses pour les régions isolées[2] et que le procédé d'osmose inverse a gagné une importance considérable en raison des avantages qu'offre cette technologie par rapport aux techniques thermiques de dessalement. En effet, la flexibilité dans les dimensions des installations (RO), la consommation d'énergie réduite et l'amélioration dans les membranes les ont rendus des processus à rendement économique très compétitifs [4].

Le système présenté dans la figure (II.1), a été proposé pour une unité de dessalement à petite échelle. Il est techniquement possible d'introduire une source d'énergie solaire photovoltaïque pour entraîner une unité d'osmose inverse(RO). Le système est autonome et sans stockage dans des batteries.

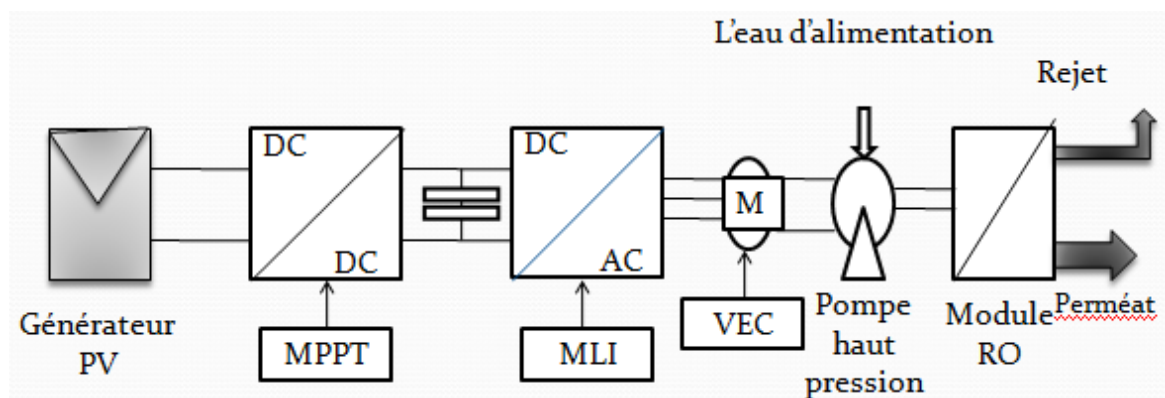


Figure II.1 Schéma représentatif du système de dessalement solaire photovoltaïque.

Le système de dessalement renouvelable **solaire** se présente comme suit:

- a- Un générateur photovoltaïque **de 2.5 KW**

- b- Un convertisseur à MPPT (hacheur) permettant de redresser la tension à la sortie de la GPV au bus continu.
- c- Un convertisseur MLI (onduleur) formé de six interrupteurs relié à l'autre côté du bus continu. Il a pour fonction de maintenir la tension au bus continu et assurer le fonctionnement de la machine à induction à la puissance maximale que peut fournir le GPV.
- d- un moteur asynchrone(MAS) d'une puissance de **2.5 KW** alimenté par l'onduleur et qui sert à entrainer une pompe haute pression (HP).
- e- une pompe haute pression entraînée par la MAS qui alimentera le module d'osmose inverse en eau saumâtre.
- f- Un module d'osmose inverse(RO).

II.3 modélisation mathématique du système :

II.3.1 modèle du PV :

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque.[8] Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque".[9]

II.3.1.1Modélisation des cellules PV :

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Selon cette philosophie plusieurs modèles électriques ont été proposés pour représenter la cellule photovoltaïque. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant du module PV.[9]

Dans notre modélisation, nous intéressons par le modèle à une seule diode avec cinq paramètres.

II.3.1.1.1 Circuit équivalent :

La (figure II.2) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque. Il correspond à un générateur de courant I monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule :

- La résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule : elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt (R_p) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.[8]

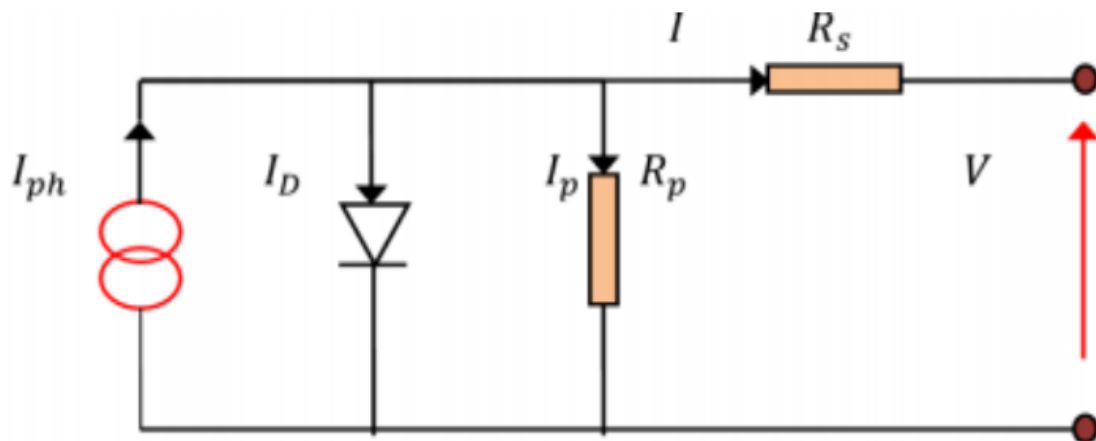


Figure II.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.[10]

Selon le schéma équivalent, le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante [10]:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_p \quad (2.1)$$

Sachant que :

I_{PV} : représente le courant de sortie fournie par la cellule solaire.

I_{ph} : représente le courant génère par la cellule solaire lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil.

I_p : représente le courant circulant dans la résistance R_p .

I_D : représente le courant de la diode, il est exprimé comme suit :

$$I_D = I_0 \left[\exp \left(\frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{V_t} - 1 \right) \right] \quad (2.2)$$

La tension V_t est souvent donnée par $V_t = N_s \left(\frac{k \cdot T}{q} \right)$, sachant que I_0 représente le courant de saturation inverse de la diode.

Avec :

- V_{pv} : représente la tension de sortie du modèle.
- V_t : représente la potentielle thermodynamique.
- T : représente la température de la jonction des cellules PV donnée en kelvin [°K].
- k : est la constante de Boltzmann ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K).
- N_s : représente le facteur d'idéalité de la jonction.

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par [8] :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{V_t} - 1 \right) \right] - \frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{R_p} \quad (2.3)$$

II.3.1.1.2 L'équation caractéristique (I-V, P-V):

L'équation caractéristique – est une équation non linéaire, sa solution nécessite l'application d'une méthode de résolution assurant un vecteur de solutions exactes ou vecteur de solutions approchées. A cet effet, plusieurs méthodes ont été développées pendant ces dernières années pour résoudre cette équation non linéaire. Parmi de celles-ci : Méthode de *Newton-Raphson* [10].

II.3.1.1.2.1 Méthode de *Newton-Raphson*:

La méthode de *Newton-Raphson* est l'une des méthodes les plus utilisées pour la résolution des équations non linéaire. C'est une méthode itérative basée sur l'évaluation de la fonction objective ainsi que sa dérivée dans un point x_n . La mise à jour de la solution dans chaque itération est assurée par l'équation ci-dessous [10]:

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2.4)$$

Ou :

$f'(x_n)$: représente l'évaluation de la dérivée de la fonction objective $f(x_n)$ dans le point solution (x_n)

$f(x_n)$: représente l'évaluation de la fonction objective $f(x)$ à la valeur actuelle x_n .

x_{n+1} : représente la mise à jour de la solution actuelle x_n .

L'application de la méthode de **Newton-Raphson** est appliquée donc pour résoudre l'équation non linéaire ci-dessous :

$$f(I_{PV}) = I_{PV} - I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{R_p} = 0 \quad (2.5)$$

L'application de la méthode de **Newton** permet de calculer la valeur du courant I pour chaque itération par :

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{ph} - I_{PV} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{R_p}}{-1 - \left(\frac{R_s I_0}{V_t}\right) \cdot \exp\left(\frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{V_t}\right) - \left(\frac{R_s}{R_p}\right)} \quad (2.6)$$

La Figure (2.2) représente la courbe $I = f(V)$ et $P = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

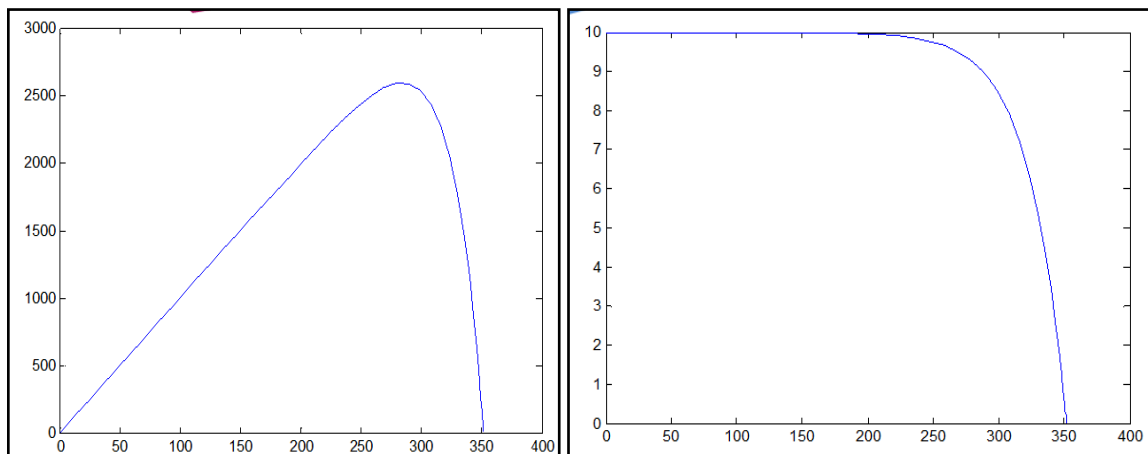


Figure II.3 représente la courbe $I = f(V)$ et $P = f(V)$

II.3.1.1. Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$

La figure II.4 montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement ; car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique.

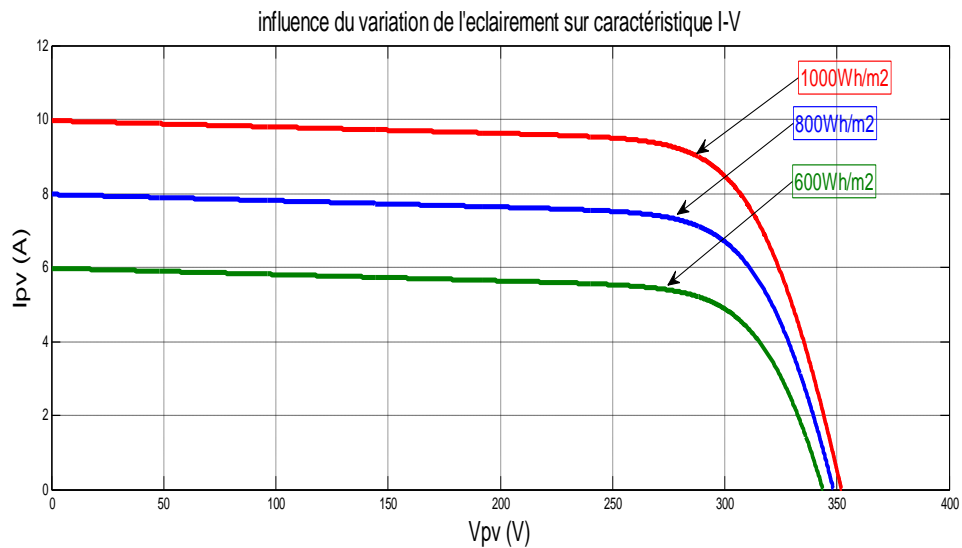


Figure II.4: Influence du variation de l'eclaircement sur le caractéristique I-V

La figure II.5 illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$.

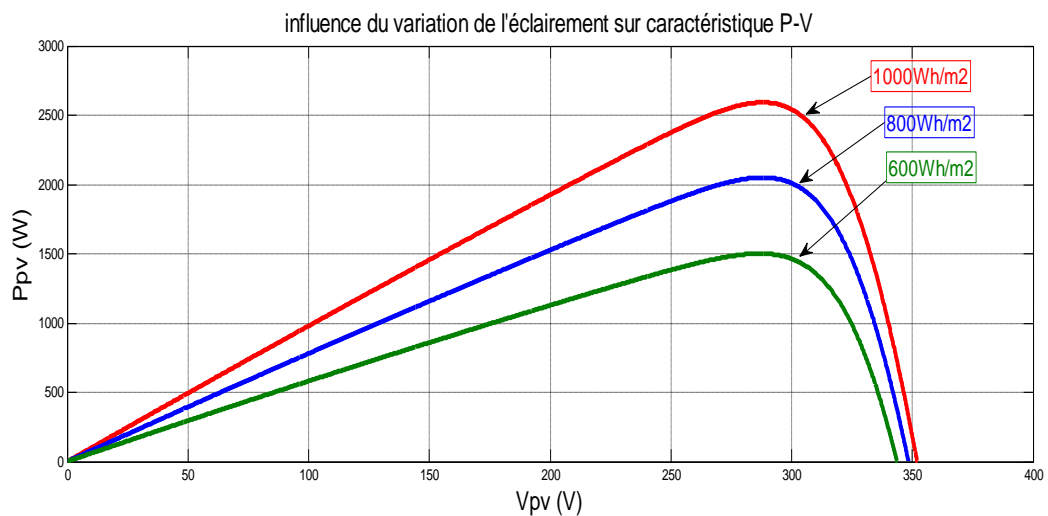


Figure II.5: Influence du variation de l'eclaircement sur le caractéristique P-V

II.3.2 Modèle du hacheur :

Le hacheur est un convertisseur continu/continu permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant) [8].

Les hacheurs sont des convertisseurs continu qui procèdent par découpage d'une grandeur d'entrée continue, tension ou courant et dont la grandeur de sortie est également continue ou à faible ondulation [11].

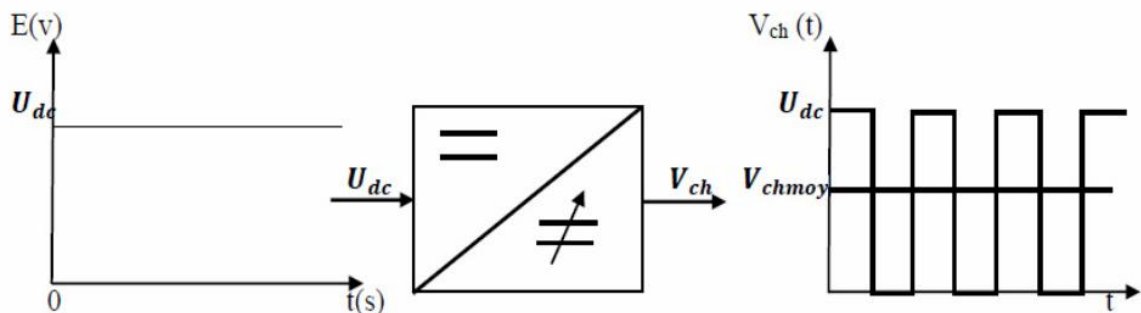


Figure II.6 : Principe de base d'un hacheur [11]

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont [8]:

- convertisseur survolteur (hacheur survolteur ou parallèle).
- convertisseur dévolteur (ou série).
- convertisseur dévolteur- survolteur (hacheur série –parallèle)[9].

Dans notre travail on a utilise un hacheur Buck

II.3.2 .1Hacheur dévolteur (ou Buck)

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur [11].

La figure (II.7) illustre le principe de fonctionnement de ce convertisseur. Ainsi, la figure (II.8) donne les intervalles de conduction de l'interrupteur et de la diode ainsi que les formes d'ondes des courants (à gauche) et tensions (à droite)[11].

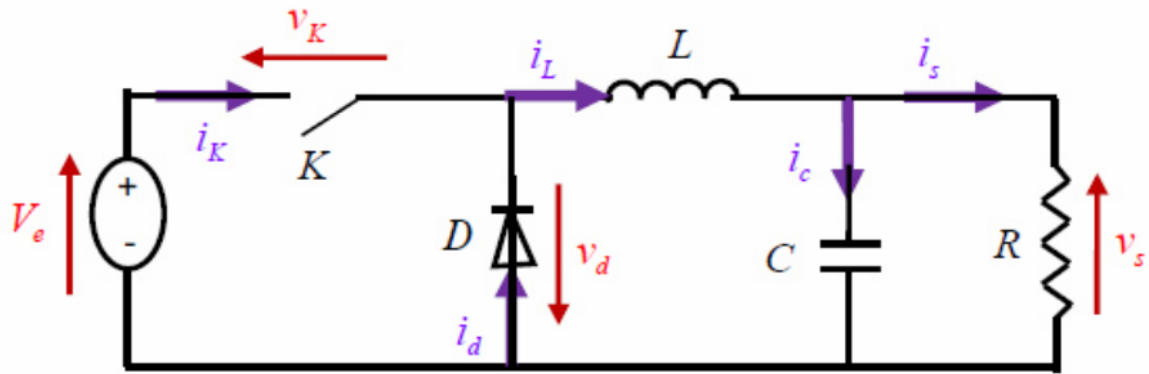


Figure II.7: Schéma de base d'un convertisseur Buck[11]

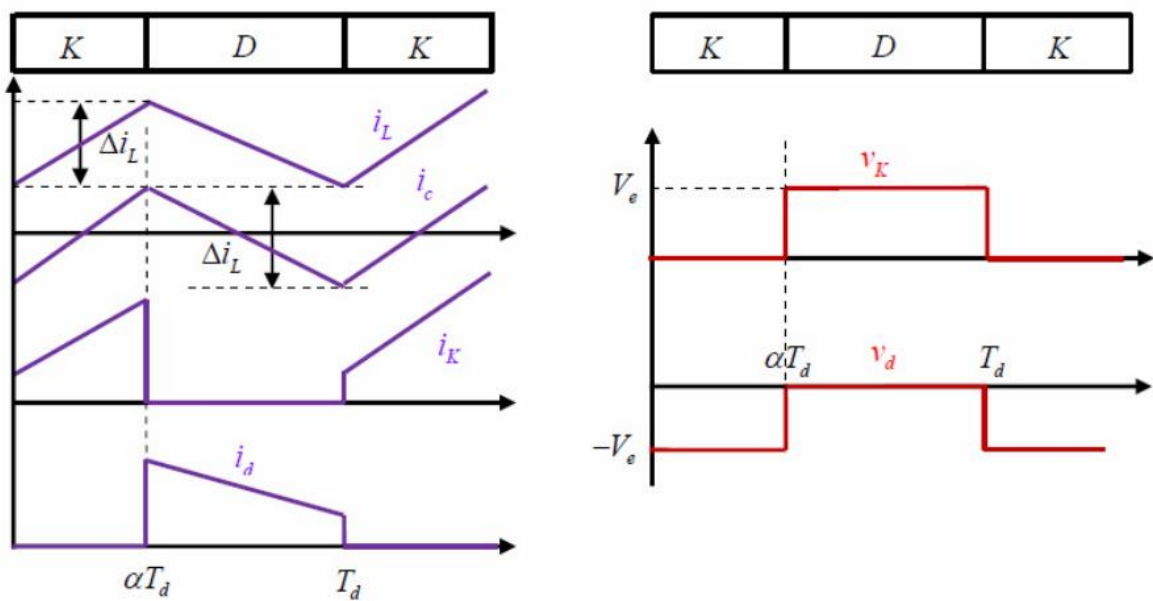


Figure II.8 : Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck[11]

II.3.2.2 Modèle mathématique équivalent :

Pour savoir le comportement réel nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (II.9) montre le schéma du circuit équivalent d'un convertisseur dévolteur avec le commutateur fermé, tandis que la figure (II.10) représente le convertisseur dévolteur avec le commutateur ouvert pendant $(1-\alpha)T_e$ [8].

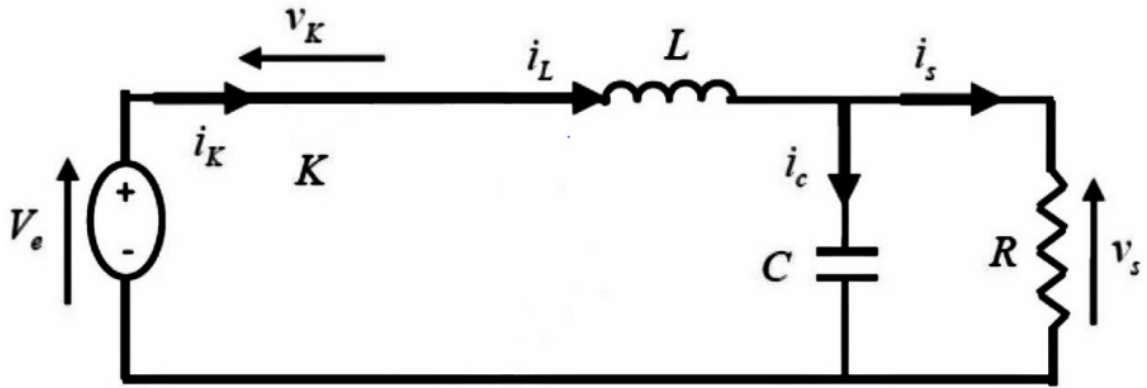


Figure II.9 : Schéma électrique d'un hacheur Buck fermé [11]

$$V_e = L \frac{di_L}{dt} + V_s \quad (2.7)$$

$$i_L = I_{\min} + \frac{V_e - V_s}{L} t \quad (2.8)$$

à l'instant $t = \alpha T_d$, le courant atteint sa valeur maximale dans l'inductance I_{\max}

$$I_{\max} = I_{\min} + \frac{V_e - V_s}{L} \alpha T_d \quad (2.9)$$

Lorsque K est ouvert et D est fermée durant l'intervalle $[\alpha T_d, T_d]$, le circuit électrique devient alors, voir la figure II.10:

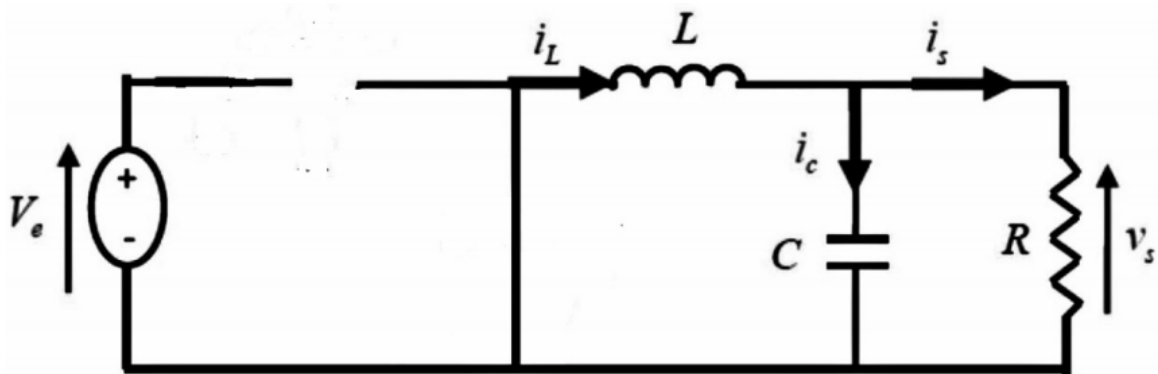


Figure II.10 : Circuit équivalent du Buck quand l'interrupteur est ouvert [11]

On a les équations (2.10) et (2.11) comme suit :

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_s \quad (2.10)$$

$$i_L = I_{\max} - \frac{V_s}{L} (1 - \alpha T_d) \quad (2.11)$$

À l'instant $t = T_d$, le courant dans l'inductance revient à sa valeur minimale I_{\min} exprimé comme suit :

$$I_{\min} = I_{\max} - \frac{V_s}{L} (1 - \alpha) T_d \quad (2.12)$$

Avec : $\Delta i_L = I_{\max} - I_{\min}$ représente l'ondulation du courant dans l'inductance

Ceci dit, l'égalité des deux équations de l'ondulation de courant (2.9) et (2.12) donne la valeur moyenne de la tension de sortie V_s :

$$V_s = \alpha V_e \quad (2.13)$$

En appliquant le principe de conservation de puissance entre l'entrée et la sortie du convertisseur, on peut établir la valeur moyenne du courant dans l'inductance :

$$I_L = I_s \quad (2.14)$$

Donc le convertisseur est abaisseur en tension.

II.3.3 Modèle de la machine asynchrone (MAS) :

Le système d'entraînement de la machine asynchrone intègre l'alimentation. Le convertisseur statique, la machine et la commande indispensables au fonctionnement de l'ensemble. De ce fait, une modélisation de la machine asynchrone, destinée aussi bien à l'étude de son comportement qu'à la mise en place des fonctionnements de la commande, est nécessaire pour le bon déroulement du processus d'entraînement. [12]

Pour simuler et commander la machine à partir des équations dynamiques, on se base sur certaines hypothèses simplificatrices :

- On ne considère que le premier harmonique d'espace de la distribution de la force magnétomotrice (structure sinusoïdale).
- On suppose le circuit magnétique parfaitement feuilleté : seuls les enroulements sont parcourus par des courants.
- Les variations des résistances R_s et R_r en fonction de la température sont très lentes à l'échelle des autres grandeurs. [4]

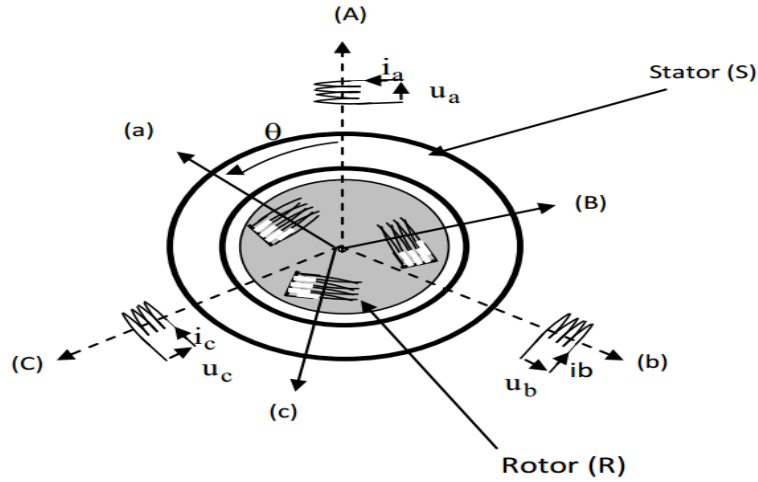


Figure II.11 : Représentation électrique d'une machine asynchrone triphasée [4]

II.3.3.1 Mise en équation du modèle de la machine:

La loi de Faraday permet d'écrire :

$$V = R \cdot I + \frac{d\phi}{dt} \quad (2.15)$$

Pour les trois phases statoriques, on résume cette écriture par l'écriture matricielle condensée :

$$[V_{abc}] = R [I_{abc}] + \frac{d}{dt} [\phi_{abc}] \quad (2.16)$$

- Pour le stator : $[V_{abcs}] = R_s \cdot [I_{abcs}] + \frac{d}{dt} [\phi_{abcs}]$

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{sa} \\ \phi_{sb} \\ \phi_{sc} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

- Pour le rotor : $[V_{abcr}] = R_r \cdot [I_{abcr}] + \frac{d}{dt} [\phi_{abcr}]$

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{ra} \\ \phi_{rb} \\ \phi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Le rotor étant en court-circuit, ses tensions sont nulles. [12]

II.3.3.2 Équations de la machine dans le plan Park :

La transformation de Park comme est représentée par (la figure II.12) est constituée d'une transformation triphasée-biphasé suivie d'une rotation. Elle permet de passer du repère fixe (abc) vers le repère mobile (d q). [12]

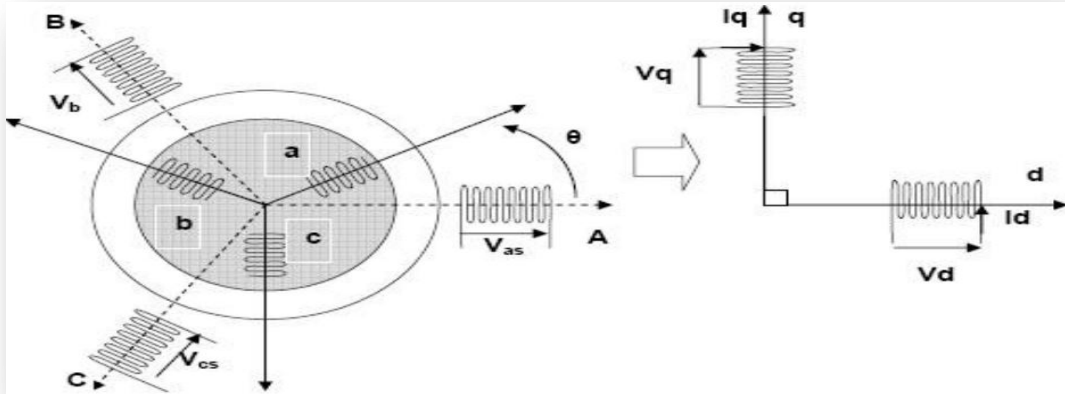


Figure II.12: représentation angulaire des systèmes d'axes dans l'espace électrique.[12]

Les grandeurs statoriques dans le repère diphasé sont transformées de la façon suivante [4] :

$$[X_{dq0}] = [T][X_{abc}] \quad (2.19)$$

Le passage inverse s'effectue ainsi :

$$[X_{dq0}] = [T]^{-1}[X_{abc}] \quad (2.20)$$

Tel que :

X: peut être la tension, le courant ou le flux.

[T]: est la matrice de transformation directe de Park.

[T⁻¹] : est la matrice de transformation inverse de Park.

Les équations des tensions deviennent :

$$[V_{dqs}] = [T] \cdot [V_{abc}] \quad (2.21)$$

$$[V_{dqr}] = [T] \cdot [V_{abc}] \quad (2.22)$$

Pour les flux :

$$\begin{cases} \varphi_{ds} = L_s I_{ds} + M I_{dr} \\ \varphi_{dr} = L_s I_{qs} + M I_{qr} \\ \varphi_{qs} = M I_{ds} + L_r I_{dr} \\ \varphi_{qr} = M I_{qs} + L_r I_{qr} \end{cases} \quad (2.23)$$

Et les tensions :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} - \frac{d\theta_s}{dt} \varphi_{qs} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} - \frac{d\theta_s}{dt} \varphi_{ds} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} \\ V_{dr} = 0 = R_r I_{dr} - \frac{d\theta_s}{dt} \varphi_{qr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} \\ V_{qr} = 0 = R_r I_{qr} - \frac{d\theta_s}{dt} \varphi_{dr} + \frac{d\varphi_{qr}}{dt} \end{cases} \quad (2.24)$$

II.3.3.3 Modèle mécanique de l'arbre :

L'équation du couple et celle du mouvement s'écrivent [12] :

$$C_e = P M [I_{qs} I_{dr} - I_{ds} I_{qr}] \quad (2.25)$$

Avec :

$$J d\omega / P dt = C_e - C_r - (f/P) \omega \quad (2.26)$$

$$C_f = f r \Omega = (f/P) \omega \quad (2.27)$$

J : moment d'inertie

C_r : couple résistant

C_f : couple de frottement

II.3.3.4 Choix du repère (d, q) :

Jusqu'à présent, nous avons exprimé les équations et les grandeurs de la machine dans un repère (d, q) qui fait un angle électrique θ_s avec le stator et qui fait également un angle électrique θ_r avec le rotor mais qui n'est défini par ailleurs, c'est-à-dire qu'il est libre.

Il existe trois choix importants. On peut fixer le repère (d, q) au stator, au rotor ou au

champ tournant. Rappelons les angles des transformations de Park θ_s et θ_r afin d'effectuer les rotations [12].

II.3.3.4.1 Référentiel fixe par rapport au stator

Il se traduit par les conditions [12] :

$$\theta_s = 0 ; \theta_r = -\theta$$

$$\frac{d\theta_s}{dt} = 0 ; \frac{d\theta_r}{dt} = -\frac{d\theta}{dt}$$

$$\omega_s = 0 ; \omega_r = -\omega$$

Les équations électriques prennent la forme :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} \\ R_r I_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} + \omega_r \phi_{qr} = 0 \\ R_r I_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} + \omega_r \phi_{dr} = 0 \end{cases} \quad (2.28)$$

II.3.3.4.2 Référentiel fixe par rapport au rotor :

Ce référentiel est choisi de préférence en vue d'étudier des variations des grandeurs statorique [12].

Il se traduit par les conditions :

$$\theta_s = 0 ; \theta_r = -\theta$$

$$\frac{d\theta_r}{dt} = 0 ; \frac{d\theta_s}{dt} = -\frac{d\theta}{dt}$$

$$\omega_r = 0 ; \omega_s = \omega$$

Les équations électriques prennent la forme :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_s \phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega_s \phi_{ds} \\ R_r I_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} = 0 \\ R_r I_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} = 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

II.3.4.3 Référentiel lié au champ tournant :

On se place dans un repère lié au champ tournant [4]:

Notons que $\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt}$ est la pulsation statorique. De même, nous noterons $\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}$

La pulsation rotorique et $\omega = \omega_s - \omega_r = \frac{d\theta}{dt} = P\Omega$ la pulsation mécanique.

Nous pouvons alors écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s I_{ds} - \omega_s \varphi_{qs} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \omega_s \varphi_{ds} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} \\ V_{dr} = 0 = R_r I_{dr} - (\omega_s - \omega_r) \varphi_{qr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} \\ V_{qr} = 0 = R_r I_{qr} - (\omega_s - \omega_r) \varphi_{dr} + \frac{d\varphi_{qr}}{dt} \end{array} \right. \quad (2.30)$$

II.3.4 Modèle de la pompe a haut pression :

Les pompes centrifuges multi-étages ou multicellulaires conçues pour un fonctionnement à vitesse variable sont la technologie la plus utilisée dans les systèmes d'osmose inverse. Elles permettent de transformer la vitesse de rotation du moteur asynchrone en un débit d'eau à haute pression capable de vaincre la pression opposée due au phénomène de l'osmose. [4]

II.3.4.1 Description d'une pompe centrifuge simple :

Cette pompe est composée d'éléments statiques et de pièces tournantes. On distingue dans les éléments statiques :

Le corps de pompe sur lequel se trouvent les tubulures et les brides d'aspiration et de refoulement, la volute et les pieds (ou pattes) de fixation sur le châssis.

Le corps de garniture (ou plateau de garnitures) fermant l'arrière du corps de pompe, il est traversé par l'arbre et reçoit le système d'étanchéité (tresses ou garniture mécanique).

Le corps de palier dans lequel sont montés des roulements ou des paliers à coussinet et contient le système de lubrification. Le corps de palier possède souvent une béquille de support.

Les parties tournantes ou rotor composé de l'arbre sur lequel sont montés les roulements, une roue, le moyen d'accouplement et les pièces tournantes des garnitures mécaniques.

[13]

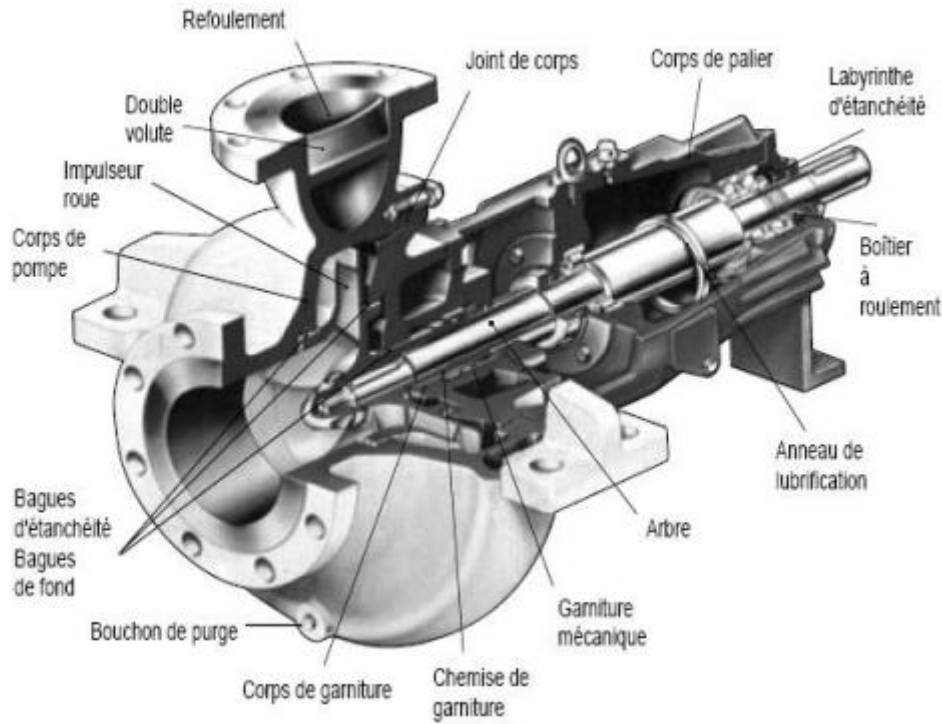


Figure II.13 : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux [13]

II.3.4.2 Caractéristiques fondamentales de la pompe :

La fonction de base d'une pompe est de faire circuler une certaine quantité de fluide et de lui communiquer une certaine pression. Les grandeurs significatives utilisées en pompage sont le débit, et la hauteur manométrique. Le débit Q représente le volume de fluide transporté par unité de temps, exprimé en m^3/s . La hauteur manométrique (H) représente la pression en un point donné du circuit, exprimée en hauteur de colonne du fluide transporté (en m). La relation entre hauteur manométrique et pression s'écrit comme suit[4] :

$$P = \rho \cdot g \cdot H \quad (2.31)$$

Tel que :

P : pression (Pa).

ρ : masse volumique du fluide (kg/m^3).

g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$).

H : Hauteur manométrique (m).

II.3.4.2.1 Caractéristiques : Hauteur – Débit

L'énergie que fournit la pompe au liquide se présente sous deux formes :

- de l'énergie de pression, correspondant à l'augmentation de pression dans la pompe.
- de l'énergie cinétique, correspondant à l'augmentation de vitesse du liquide entre l'aspiration et le refoulement. [13]

La relation reliant la pression au débit et la vitesse de rotation de la pompe est exprimée par la relation "*Pleiderer et Peterman*" ainsi [4]:

$$P = a\Omega^2 + b\Omega Q + cQ^2 \quad (2.32)$$

Tel que :

- a et b sont les paramètres de la pompe.
- c est le paramètre correspondant aux pertes de la pompe.
- Ω est la vitesse de rotation de l'arbre de la pompe (rd/s).
- Q est le débit en m^3/s .

Pour notre installation, nous avons choisi une pompe centrifuge d'une puissance de **2.5 kW**.

La figure suivante illustre sa caractéristique Pression-débit pour différentes vitesses de rotation.

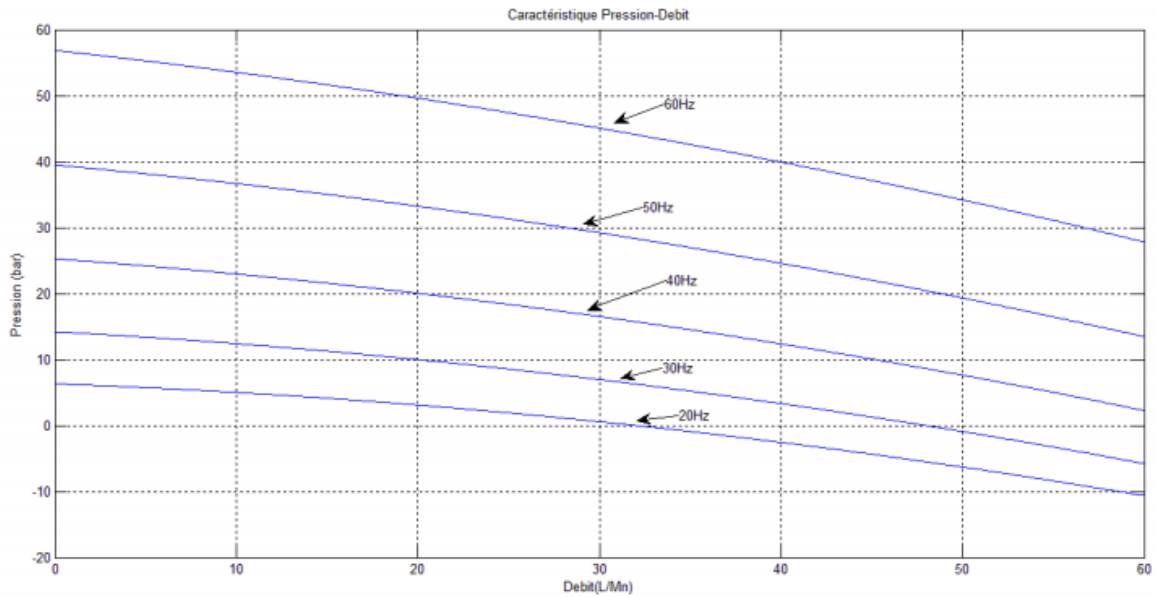


Figure II.14 Courbe caractéristique Pression-débit de la pompe HP pour différentes fréquences.

II.3.4.2.2 Caractéristique du couple :

Le couple de la pompe centrifuge est de forme quadratique .il s'écrit ainsi [4] :

$$T_r = A Q^2 + b Q \Omega \quad (2.33)$$

Où:

Q : débit.

T_r : le couple statique.

Ω : la vitesse de rotation de l'arbre de la pompe.

La (figure II.15) représente l'évolution du couple de la pompe en fonction de la vitesse de rotation

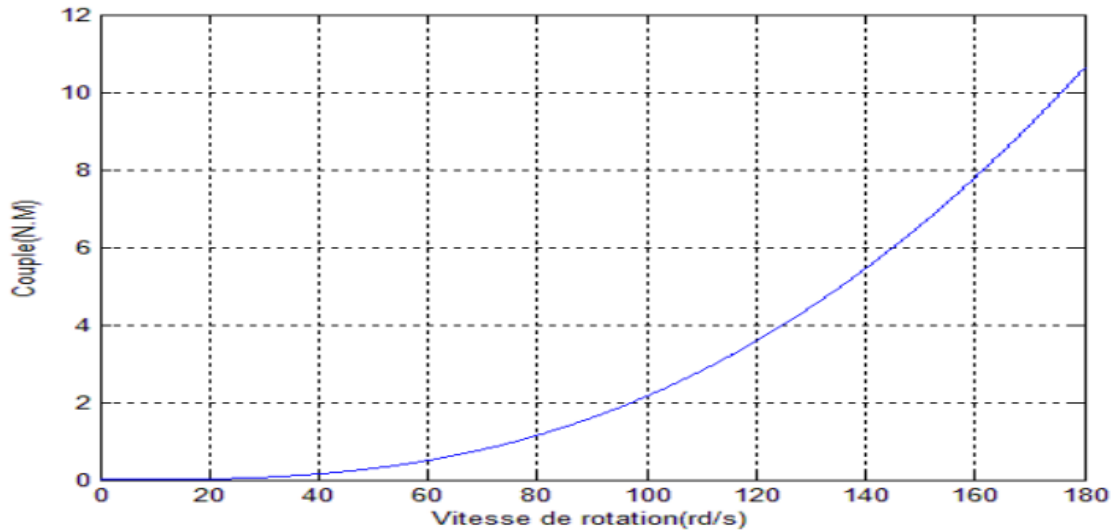


Figure II.15 Caractéristique du couple résistant de la pompe.

II.3.5 Modèle de la membrane d'osmose inverse :

Il existe plusieurs modèles dans la littérature pour l'étude du comportement de la membrane lors de son fonctionnement. Toutefois les deux grandes théories utilisées sont le modèle développé par **Kimura et Sourirajan** qui tient compte des effets de convection à l'intérieur de la membrane et celui de **Spiegler, Kedem et Katchalsky** qui ont utilisé une approche thermodynamique pour décrire le transport du solvant à l'intérieur de la membrane. On se contente du premier modèle qui sera présenté par la suite. [4]

RO consiste à séparer les substances dissoutes d'une solution salée pressurisée en la faisant diffuser à travers une membrane. En pratique, l'eau d'alimentation est pompée dans une cuve étanche où elle est pressurée contre la membrane. À mesure qu'une fraction de l'eau diffuse à travers la membrane, la teneur en sels de la fraction restante augmente. En même temps, une partie de cette eau d'alimentation est rejetée, sans diffuser à travers la membrane [3].

On résume la théorie de transfert via une membrane d'osmose inverse par l'ensemble des équations qui gouvernent ce phénomène. Le flux d'eau et le flux de sel via la membrane sont estimés par le modèle de **Kimura-Sourirajan** [14] :

$$J_w = A(\Delta P - \Delta \pi) \quad (2.34)$$

$$J_s = B(C_w - C_p) \quad (2.35)$$

$$J_s = J_w C_p \quad (2.36)$$

Avec A la perméabilité de la membrane à l'eau en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$, ΔP la pression transmembranaire exercée par la pompe en Pa , $\Delta \pi$ la pression d'osmose en Pa et Les indices w, m, p, s se réfèrent respectivement à l'eau, à la surface de la membrane, au perméat et au soluté.

La concentration et le débit du perméat sont exprimés comme suit [4]:

$$C_p = (J_s / J_w) \quad (2.37)$$

$$Q_p = (S \cdot J_w) \quad (2.38)$$

Où S est la surface active de la membrane

Les équations de volume et de bilan massique autour de l'élément membranaire sont données par :

$$Q_f = (Q_r + Q_p) \quad (2.39)$$

$$C_f \cdot Q_f = (C_r \cdot Q_r + C_p \cdot Q_p) \quad (2.40)$$

Un facteur important dans le procédé d'osmose inverse c'est le taux de recouvrement de la membrane qui est le rapport du débit d'eau produite sur le débit d'eau d'alimentation défini par [4]:

$$R = \frac{Q_p}{Q_f} \quad (2.41)$$

Un second facteur qui n'est pas moins important que le premier c'est la sélectivité d'une membrane définie par le taux de rejet Y (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir [4]:

$$Y = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (2.42)$$

La difficulté de ce modèle qui tient en compte le phénomène de la polarisation a imposé la recherche d'approximations moins complexes pour étudier le comportement statique et dynamique de ce modèle. L'une de ces approche est celle développée par **FILMTEC** pour

Chapitre II : Configuration et modélisation du système de dessalement

les membranes enroulées en spirale pour l'évaluation du facteur de polarisation basée sur les travaux *Taylor et al* [4] :

$$C_w - C_p = e^{k.R} \quad (2.43)$$

Avec, R le taux de recouvrement et $k=0.7$ (une constante).

La pression transmembranaire en négligeant la pression due au perméat est définie par [4]:

$$\Delta P = P - \frac{\Delta P_d}{2} \quad (2.44)$$

Tel que ΔP représente la chute de pression le long du canal de la membrane et P la pression imposée par la pompe en Pa .

La chute de pression le long de la membrane est approximée par [4] :

$$\Delta P_d = \delta \left[\frac{Q_f + Q_c}{2\rho} \right] \tau \quad (2.45)$$

Avec : $\delta=9.5 \times 10^8$ et $\tau=1.7$

La pression osmotique peut être approximée par la relation suivante dérivée de la loi de *Van't Hoff* en considérant que le NaCl:

$$\Delta \pi = K_{NaCl} (T_{NaCl} + 273) \frac{C_{NaCl}}{1000 - \frac{C_{NaCl}}{1000}} \quad (2.46)$$

Où : C_{NaCl} est la concentration de l'eau à dessaler en sel (mg/l)

T_{NaCl} : la température de la solution concentrée (°C)

K_{NaCl} : la constante osmotique du Na cl (=2.6545bar.l/°k.g)

Le coefficient de perméabilité à l'eau tenant compte de la température et le facteur de colmatage peut s'écrire ainsi :

$$A = A_{ref} \cdot TCF \cdot FF \quad (2.47)$$

Avec : A_{ref} le facteur de perméabilité de référence de la membrane donné par le constructeur, TCF le facteur de correction de la température et FF (**Fouling Factor**) le facteur de colmatage qui tient compte du dépôt de quelques sels sur les pores le la

membrane et qui varie entre 100% pour une nouvelle membrane et 80% pour 4 ans de fonctionnement. Le facteur de correction de température est exprimée par :

$$\text{TCF} = \exp\left(\frac{e}{R_g} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (2.48)$$

Avec T la température de l'eau en K, T₀ la température de référence (298 K), R_g la constante des gaz parfaits (8.314 J.mol⁻¹.K⁻¹) et e énergie d'activation de la membrane en J.mol⁻¹ Approximée par la documentation technique de DOW par 25000 quand T < 298K et 22000 quand T > 298.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé une modélisation pour tous les constitutions du système de dessalement solaire photovoltaïque cela nous permettons de préciser la commande de système biens contrôlé au chapitre suivant.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter la commande du système pour améliorer ses performances, nous proposons la commande(MPPT) du générateur photovoltaïque, la commande vectorielle de la machine asynchrone et ensuite nous présenterons les résultats de simulation de notre système.

III.2 commande MPPT du GPV

III.2.1 Caractéristique D'un générateur Photovoltaïque :

Notre générateur photovoltaïque devra alimenter une pompe de 1.8 kW

On prend par exemple un panneau KC-60. Ce module possède les caractéristiques suivantes à 1000 (w/m²) et 25°C.

Tableau III.1 : Caractéristiques du module KC-60

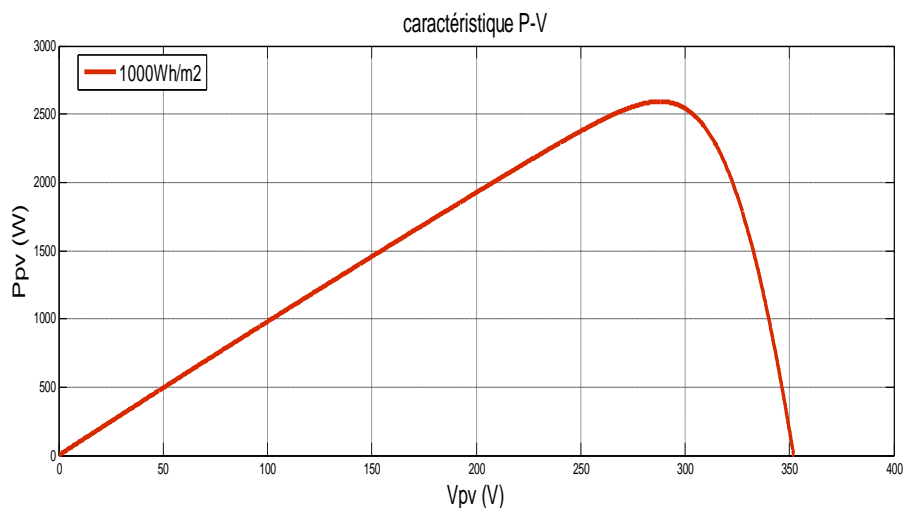
Puissance optimale	Courant de court-circuit	Tension à circuit ouvert	Courant optimale	Tension optimale
80W	5A	44V	4.5A	36V

Le générateur photovoltaïque est composé de 16 modules (nombre de panneaux en série est 8, et en parallèle est 2)

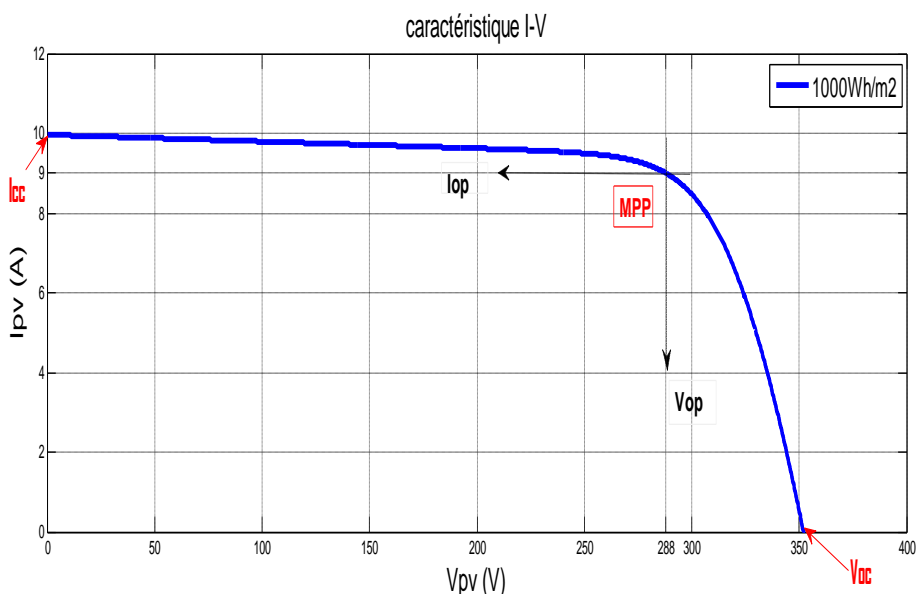
Les caractéristiques du GPV est résumé dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Caractéristiques de générateur photovoltaïque utilisé

Nombre de panneau en série	Nombre de panneau en parallèle	La puissance crête totale de système	Tension optimale de GPV	Courant optimale de GPV
8	2	2592 (w)	288 (V)	9 (A)



Le figure III.1 : Représent l'allure de puissance-tension (P-V) sous l'éclairement $E=1000$ Wh/m^2



Le figure III.2 : Représent l'allure de courant-tension (I-V) sous l'éclairement $E=1000$ Wh/m^2

En fin la puissance a une relation de proportionnalité directe avec la grandeur de l'éclairement. Les figure (III.11) et (III.12) montrent les caractéristique du GPV $I=f(V)$, $P=f(V)$, sous l'éclairement de $1000 W/m^2$ toute les cellules PV sont caractérisées par cette courbe courant-tension et puissance-tension qui représentant l'ensemble de configuration électrique. Trois grandeurs physiques définissent les courbes suivantes :

La tension à vide générée par les cellules éclairée non raccordée **Voc : 352 V**

Le courant de court-circuit générée par les cellules éclairée et raccordée à elle-même **I_{cc} :10A**

Et en fin le point de puissance maximal MPP obtenu pour une tension et un courant optimaux **V_{op}** et **I_{op}** comme des coordonnées, **MPP (288 v, 9 A)**.

III.2.2 Principe De La Commande MPPT :

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelles que soient les conditions météorologiques (température et éclairage), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (**V_{mpp}**, **I_{mpp}**). [18]

La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (DC-DC) commandé par une MPPT [19]. Il peut être représenté par le schéma de la Figure(III.3).

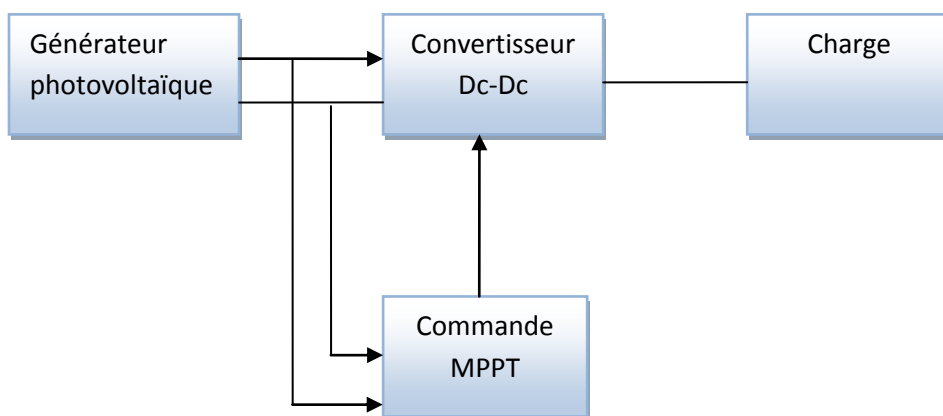


Figure III.3 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (DC/DC), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du convertisseur en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP [19].

III.2.2.1 Perturbation Et Observation (P&O, Perturbe And Observe) :

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension V_{ref} , ou du courant I_{ref} , et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ($P=VI$). Cependant, la variable idéale qui caractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. La variation du rayonnement affecte davantage le courant que la tension photovoltaïque. Par contre, la variation de la température modifie plus la tension du GPV. Néanmoins, la dynamique de la température est lente et varie sur une plage réduite. Par conséquent, il est préférable de contrôler la tension du GPV.

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension V_{PV} , ce qui engendre une variation de la puissance. Figure (III.4) montre qu'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 $P(V)$, 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[19]

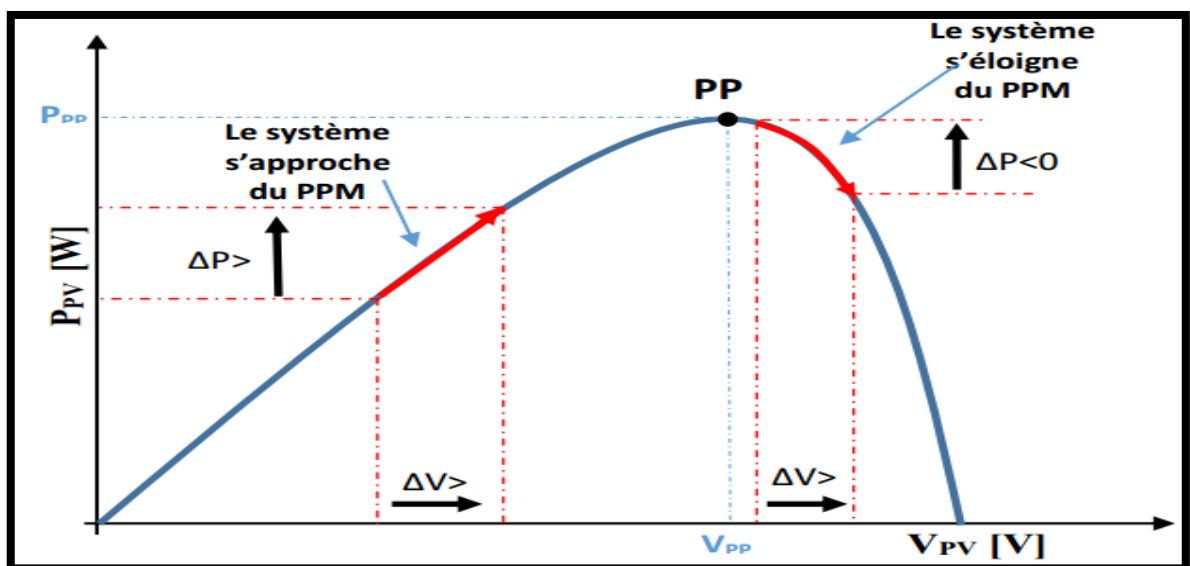


Figure III.4 : Recherche du PPM par la méthode (P&O).

La figure (III.5) montre l'organigramme de l'algorithme de P&O tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle, Si la valeur de la puissance actuelle $P(k)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k-1)$ alors en garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent.[18]

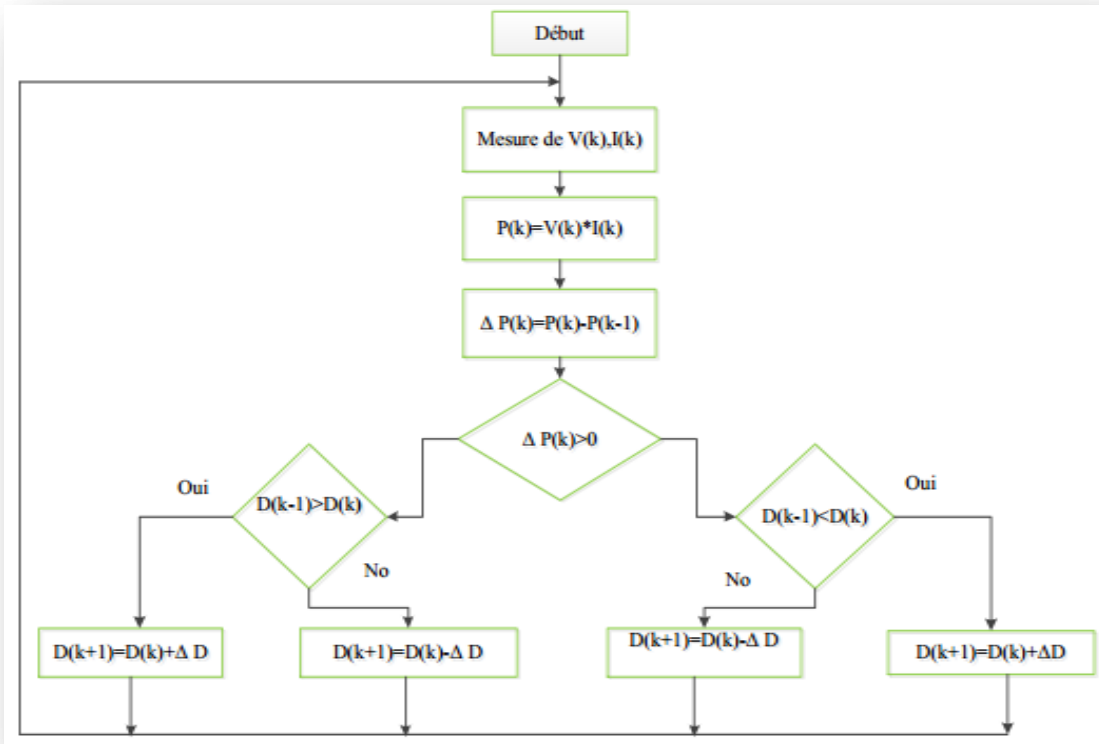


Figure III.5 : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation.

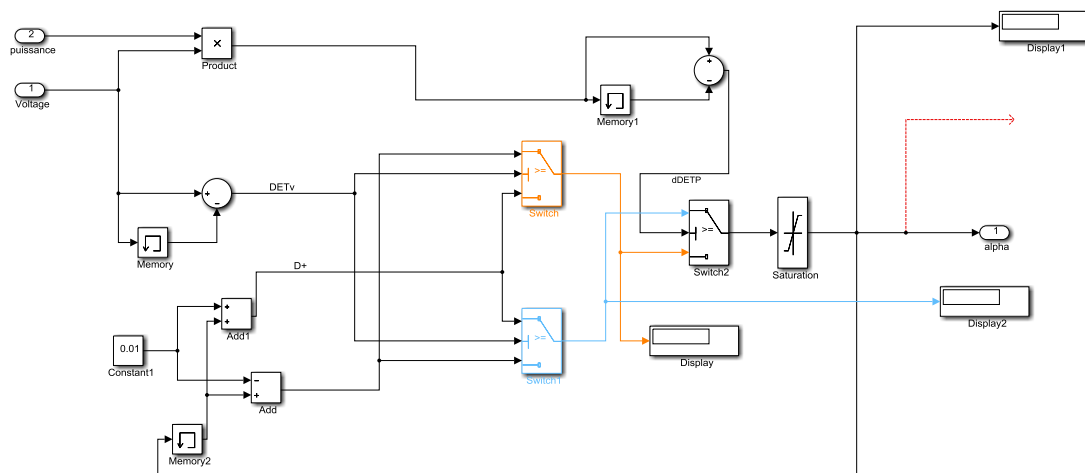


Figure III.6 : modèle simulation de la commande MPPT

III.3 Commande de la machine asynchrone

Dans cette partie du système, la machine asynchrone sert à entraîner la pompe à haute pression qui alimente le module d'osmose inverse en eau saumâtre. Elle est reliée au bus continu par le biais d'un onduleur MLI. Le contrôle de la machine asynchrone requiert le contrôle du couple, de la vitesse ou même de la position. Le contrôle le plus primaire est celui des courants et donc du couple [4].

Contrairement au modèle de la machine à courant continu, le modèle de la machine asynchrone présente un couplage naturel entre le courant qui crée le couple électromagnétique et le courant qui crée le flux magnétique, ce qui va rendre la commande plus difficile [20].

Pour remédier à ce problème des moteurs asynchrones, il fallait penser à une stratégie de commande, qui assurerait un découplage de ces moteurs et à une souplesse de réglage analogue à celle des entraînements à courant continu. La commande vectorielle ou commande à flux orienté s'est donc imposée comme la norme d'avenir dans le domaine des entraînements à courant alternatif. En effet, cette commande procède par la linéarisation du moteur asynchrone en considérant la dynamique inverse du modèle non linéaire. Le résultat étant un système linéaire facile à régler [8] et alliant les caractéristiques du moteur asynchrone à cage à la flexibilité de commande du moteur à courant continu [21].

III.3.1 Principe de la commande vectorielle :

Le but de la commande vectorielle est d'arriver à commander la machine asynchrone comme une machine à courant continu à excitation indépendante où il y a un découplage naturel entre la grandeur commandant le flux (le courant d'excitation), et celle liée au couple (le courant d'induit). Ce découplage permet d'obtenir une réponse très rapide du couple [4].

L'équation du couple électromagnétique en régime quelconque suivante :

$$C_e = \frac{PM}{L_r} (\varphi_{dr} I_{qs} - \varphi_{qr} I_{ds}) \quad (3.1)$$

Il existe dans la littérature deux méthodes : orientation du flux rotorique et orientation du flux statorique. Dans notre travail, nous nous limitons à l'orientation du flux rotorique, car, elle est la plus utilisée, elle élimine l'influence de réactances de fuite rotorique et statorique et donne de meilleurs résultats [20].

Le flux rotorique est alors :

$$\begin{cases} \varphi_{dr} = \varphi_r \\ \varphi_{qr} = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

L'expression du couple se transforme :

$$C_e = P (M/L_r) \varphi_{dr} i_{qs} \quad (3.3)$$

On choisit d'orienter le flux rotorique de telle sorte à annuler sa composante en quadrature, qui revient à éliminer le deuxième produit de la quatrième expression du système C'est-à-dire de choisir un angle de Park convenable pour porter le flux rotorique sur l'axe d et donc annuler, le principe est donné en figure (III.7).

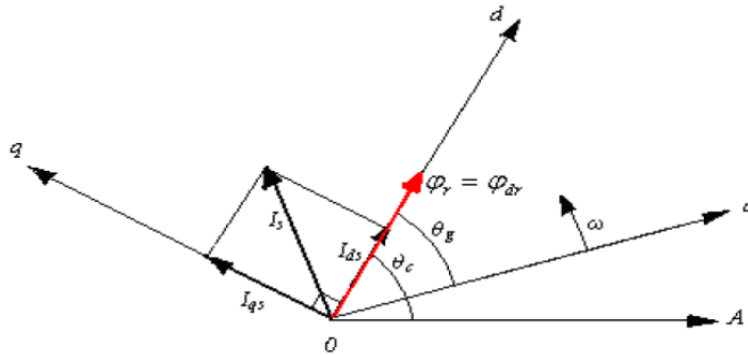


Figure III.7: principe de l'orientation du flux rotorique.

Il existe, essentiellement, deux méthodes de commande à flux orienté, l'une dite méthode directe, repose sur la connaissance du flux (position et norme). L'autre, appelée méthode indirecte, basée sur la connaissance de la position du flux seulement [4]. Nous utiliserons la première commande pour notre application.

En imposant : $\varphi_d = \varphi_r$ et $\varphi_q = 0$

Le modèle de la machine dans le repère lié au champ tournant est donné par le système d'équations :

$$\begin{cases} \frac{d I_{ds}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} (-R_s I_{ds} + \omega_s \sigma L_s I_{qs} - \frac{M}{L_r} \frac{d \varphi_r}{dt} + V_{qs}) \\ \frac{d I_{qs}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} (-R_s I_{qs} + \omega_s \sigma L_s I_{ds} - \frac{M}{L_r} \omega_s \varphi_r + V_{ds}) \\ T_r \frac{d \varphi_r}{dt} + \varphi_r = M I_{ds} \\ \omega_{sl} = \left(\frac{M}{T_r} \right) \left(\frac{I_{qs}}{\varphi_r} \right) \\ \omega_s = \omega_r + \omega_{sl} \end{cases} \quad (3.4)$$

L'équation mécanique est exprimée comme suit :

$$J \frac{d\Omega_r}{dt} = C_e - C_r - C_f \quad (3.5)$$

Si on oriente le flux rotorique pour éliminer sa composante en quadrature, le système (3.4) devient :

$$\begin{cases} V_{ds} = (R_s + s\sigma L_s) I_{ds} + P \frac{M}{L_r} \varphi_r - \omega_s \sigma L_s I_{qs} \\ V_{qs} = (R_s + s\sigma L_s) I_{qs} + \omega_s \frac{M}{L_r} \varphi_r - \omega_s \sigma L_s I_{ds} \\ \varphi_r = \frac{M}{1+s T_r} I_{ds} \\ \omega_{sl} = \frac{M}{T_r} \varphi_r I_{qs} \end{cases} \quad (3.6)$$

III.3.2 Conception des contrôleurs de la MAS :

Afin d'assurer l'écoulement de toute la puissance générée par le système de conversion d'énergie photovoltaïque vers la MAS, nous proposons deux boucles de régulations. La première boucle commande le couple de la MAS et la seconde boucle pour la régulation du flux. Étant donné que la puissance au bus continu est variable, la boucle de régulation du couple comportera deux boucles en cascade pour fixer la tension au bus continu. La capacité du bus continu initialement chargée ne devrait pas être déchargée au cours du fonctionnement du système. Donc, nous devons imposer à la MAS de fonctionner à un couple électromagnétique qui assure une égalité des puissances générée par la source et la puissance consommée par la MAS. A la sortie des régulateurs, nous obtenons les tensions de références à imposer à la MAS par l'onduleur à commande MLI.

III.3.2.1 Régulation du couple :

III.3.2.1.1 Régulation de la tension au bus continu :

La puissance transférée du bus continu vers la MAS est conservée par l'égalité suivante en considérant le convertisseur sans pertes :

$$V_{ds} I_s = V_{ds} I_{ds} + V_{qs} I_{qs} \quad (3.7)$$

L'objectif de la boucle de régulation du bus continu est de fixer la tension au bus continu qui devient une source d'alimentation de la MAS pour assurer le bon fonctionnement du convertisseur et imposer un fonctionnement à une puissance de référence égale à celle

générée par le système de conversion d'énergie éolienne. Pour ce faire, la tension de référence doit être au moins égale au double de la tension maximale de la MAS tel que :

$$V_{ds-ref} = 2\sqrt{2}V_{effa} \quad (3.8)$$

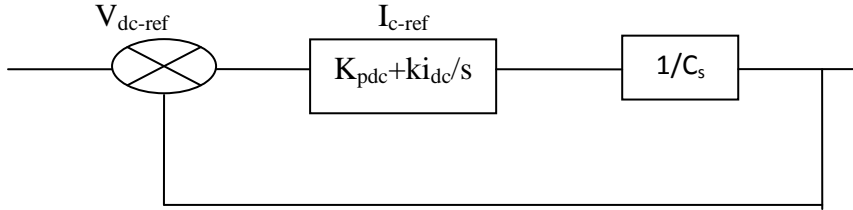


Figure III.8 : Schéma bloc de régulation de la tension au bus continu

La tension du bus continu est comparée à (tension de référence) et la différence est appliquée au contrôleur. La sortie définit le courant de référence qui représente le courant de charge de la capacité du bus continu. La régulation annule ce courant et maintient l'égalité des courants en amont et en aval du bus continu. Nous utiliserons un régulateur PI pour ramener la tension du bus continu à sa référence. Le courant de charge de référence de la capacité du bus continu est issu du régulateur et s'écrit ainsi :

$$I_{c-ref} = \left(K_{pdc} + \frac{k_{i_{dc}}}{s} \right) (V_{dc-ref}) \quad (3.9)$$

III.3.2.1.2 Régulation du courant en quadrature :

En reprenant les courants du bus continu :

$$I_{dc} = I_{c-ref} + I_s \quad (3.10)$$

Nous pouvons obtenir le courant en amont de l'onduleur par l'équation :

$$I_{s-ref} = I_{dc} - I_{c-ref} \quad (3.11)$$

La puissance de référence qui nous assure l'égalité des puissances s'écrit :

$$P_{ref} = V_{dc} I_{s-ref} \quad (3.12)$$

Le courant en quadrature de référence peut être écrit ainsi :

$$I_{q-ref} = (V_{dc} I_{s-ref} + V_{ds} I_{ds}) / V_{qs} \quad (3.13)$$

La boucle de régulation du courant en quadrature est représentée par la figure suivante :

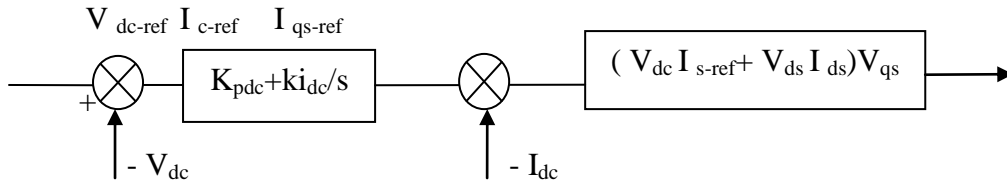


Figure III.9 : Schéma –bloc de génération du courant I_{q-ref}

III.3.2.1.3 Régulation du flux :

La seconde boucle de régulation maintient le flux de la machine à sa valeur nominale. Le flux mesuré ou estimé est comparé au flux nominal de la MAS et la différence est appliquée à un régulateur PI pour déterminer le courant direct I_{d-ref} à imposer comme signal de référence pour la MAS.

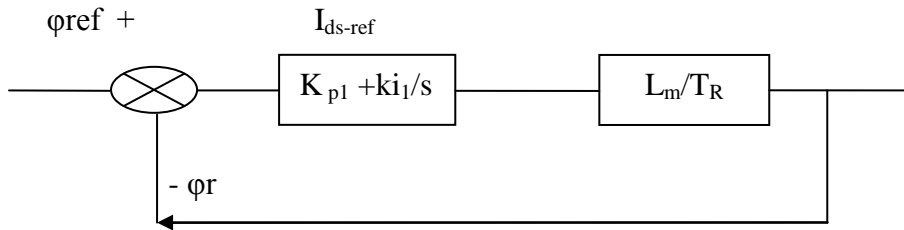


Figure III.10 : Schéma bloc de la boucle de régulation du flux

III.3.résultats de simulation :

La figure (III.11) nous présenté le générateur photovoltaïque qui est produit l'énergie pour alimenté le machine asynchrone qui va tourner le moteur a haute pression pour injecté l'eau d'alimentation vers la membrane osmose inverse qui sépare le liquide sous le gradient de la pression pour avoir l'eau pure.

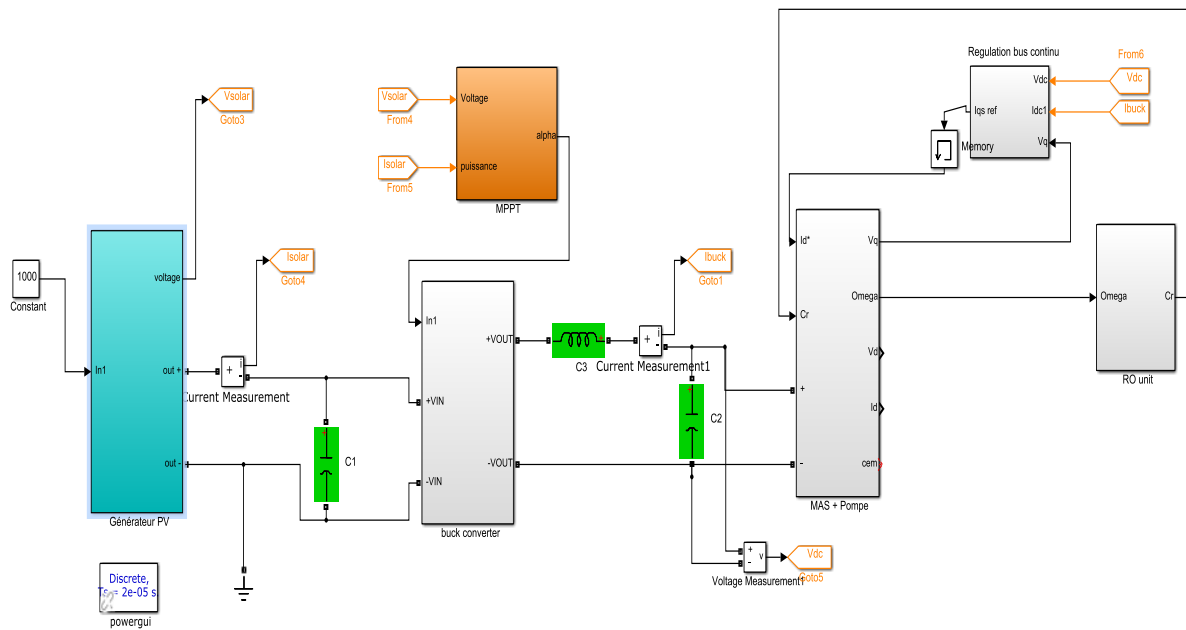


Figure III.11 : Modèle de simulation du système de dessalement.

III.3.1 Résultats de simulation de système de dessalement :

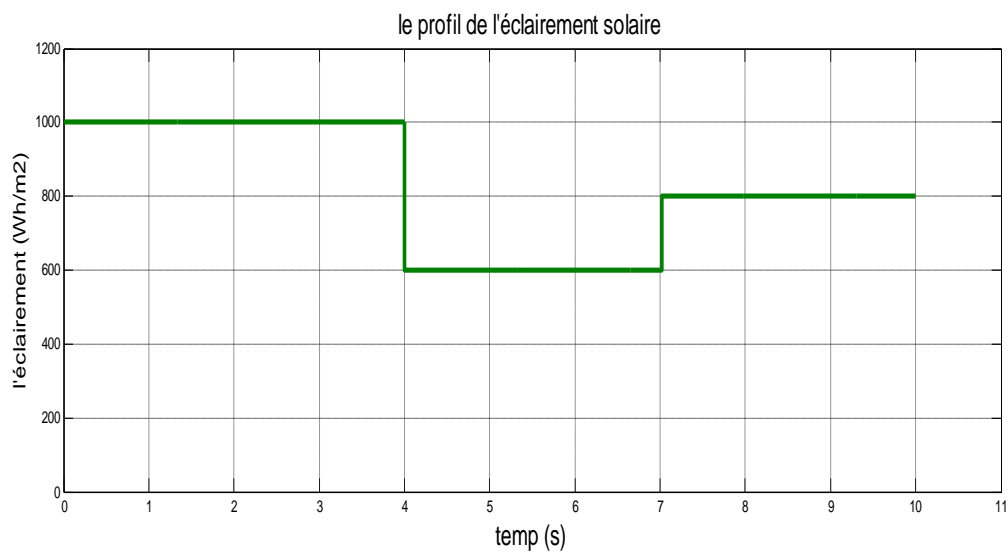


Figure III.12 : le profil de l'éclairement solaire

La figure (III.13) représente le profil d'éclairement considéré comme grandeur d'entrée.

De $T= (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E=1000\text{Wh/m}^2$

De $T= (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E=600\text{Wh/m}^2$

De $T= (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E= 800\text{Wh/m}^2$

III.3.1.1 Résultats de simulation de GPV :

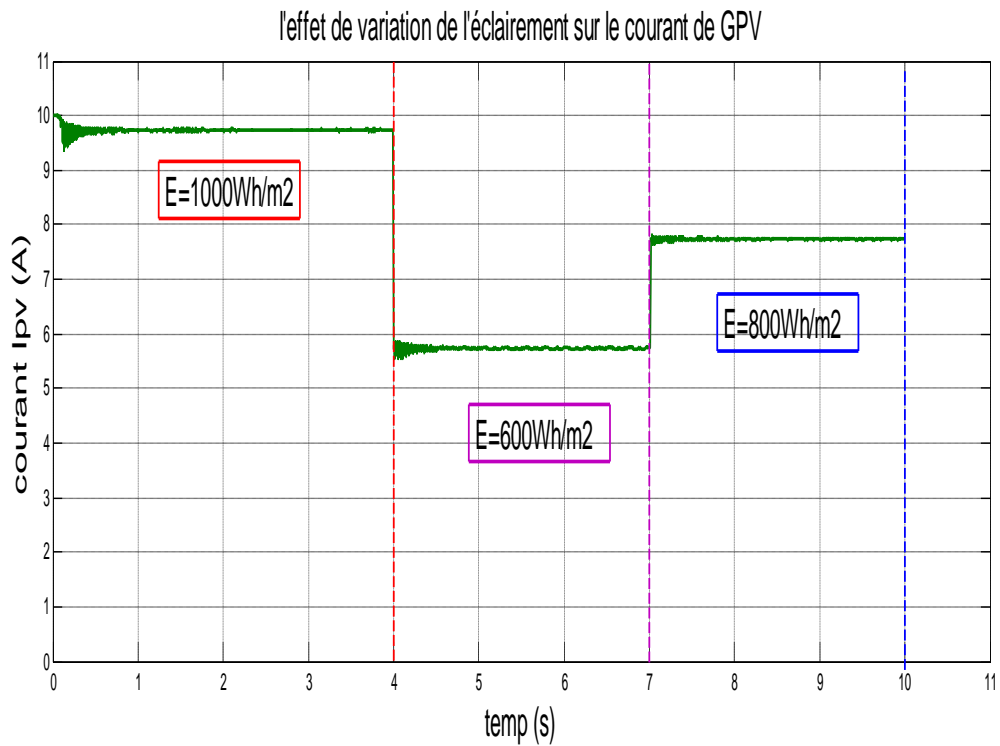


Figure III.13 : l'effet de variation de l'éclairement sur le courant I_{PV}.

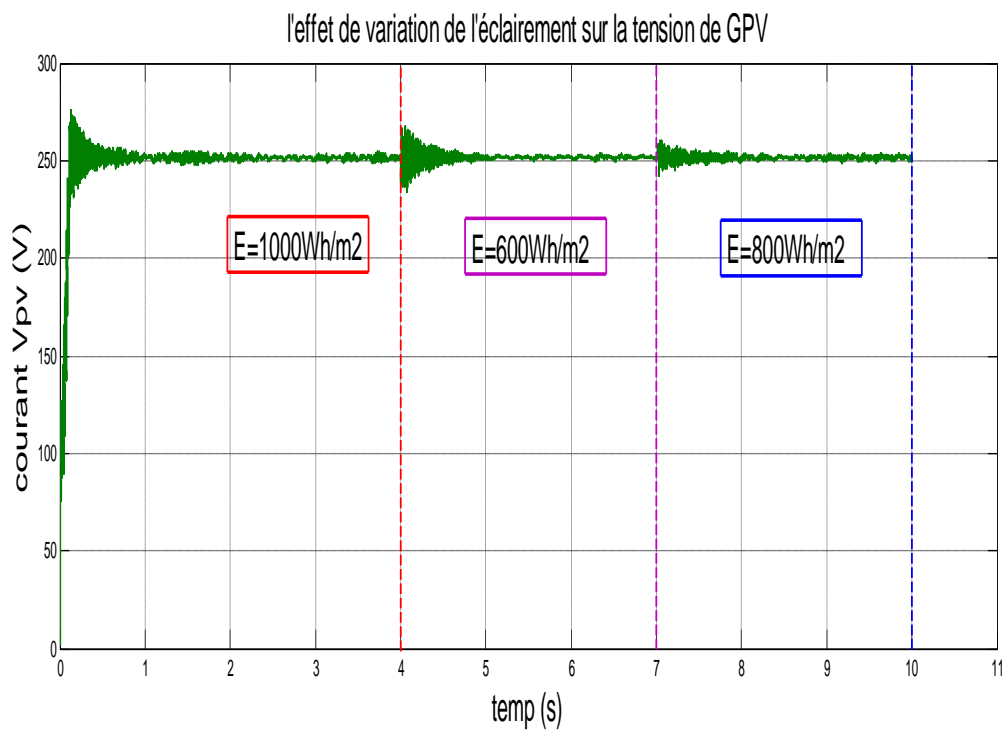


Figure III.14 : l'effet de variation de l'éclairement sur la tension V_{PV}

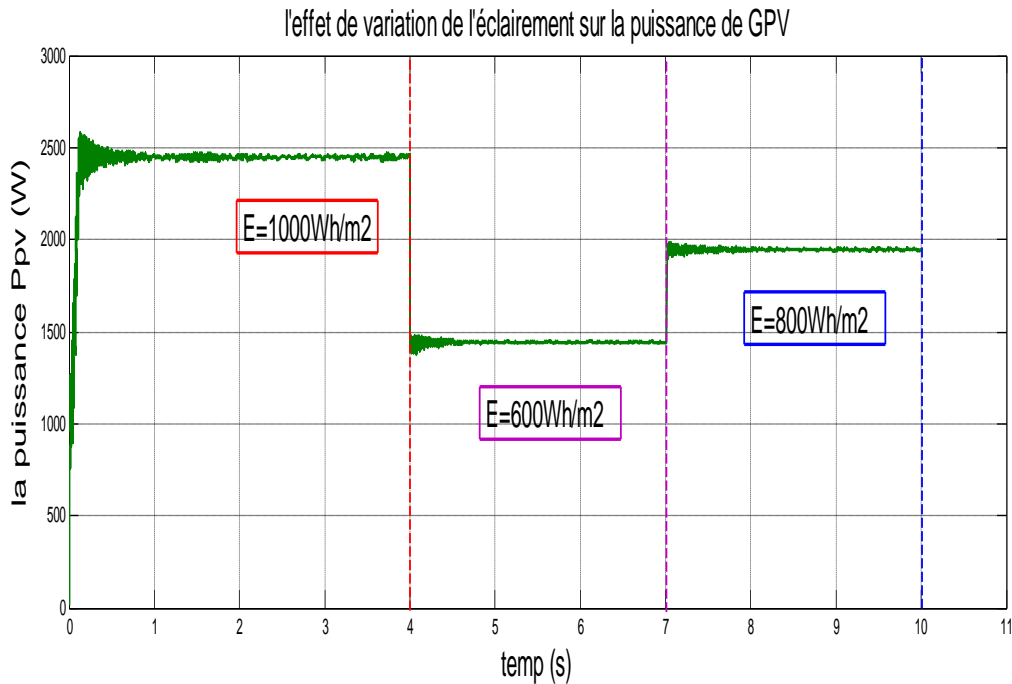


Figure III.15 : l'effet de variation de l'éclairement sur la puissance de GPV.

La figure (III.14) montre la variation de courant du générateur photovoltaïque sous l'effet de l'éclairement.

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2 ; I_{PV} = 9.7 \text{ A}$
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2 ; I_{PV} = 5.7 \text{ A}$
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2 ; I_{PV} = 7.7 \text{ A}$

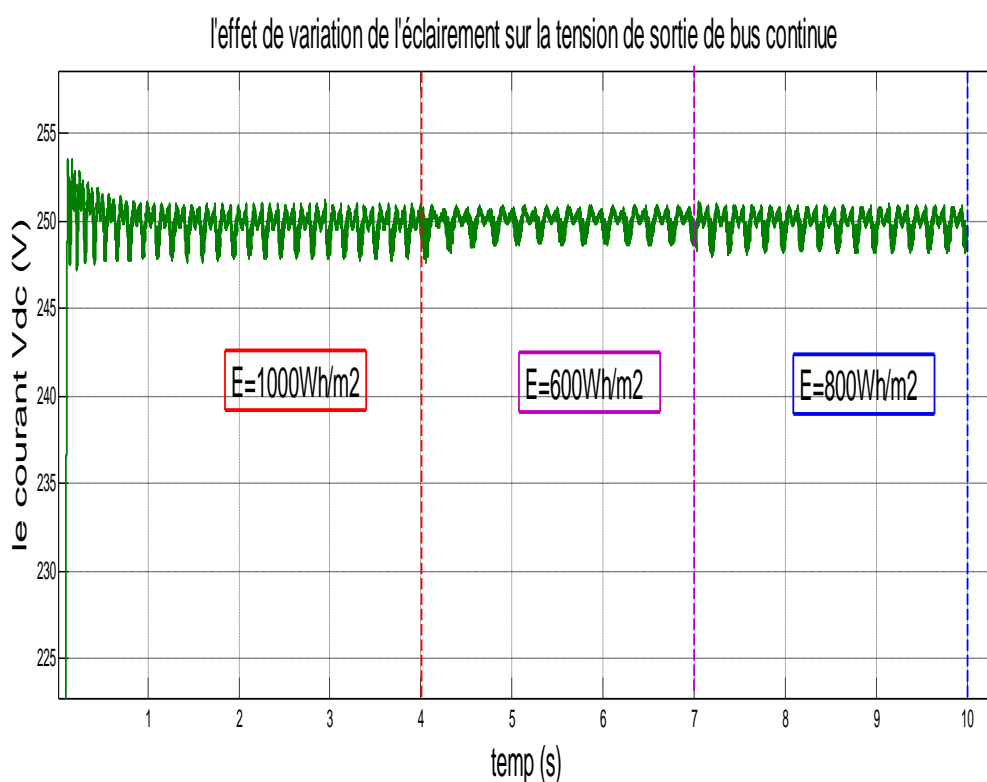
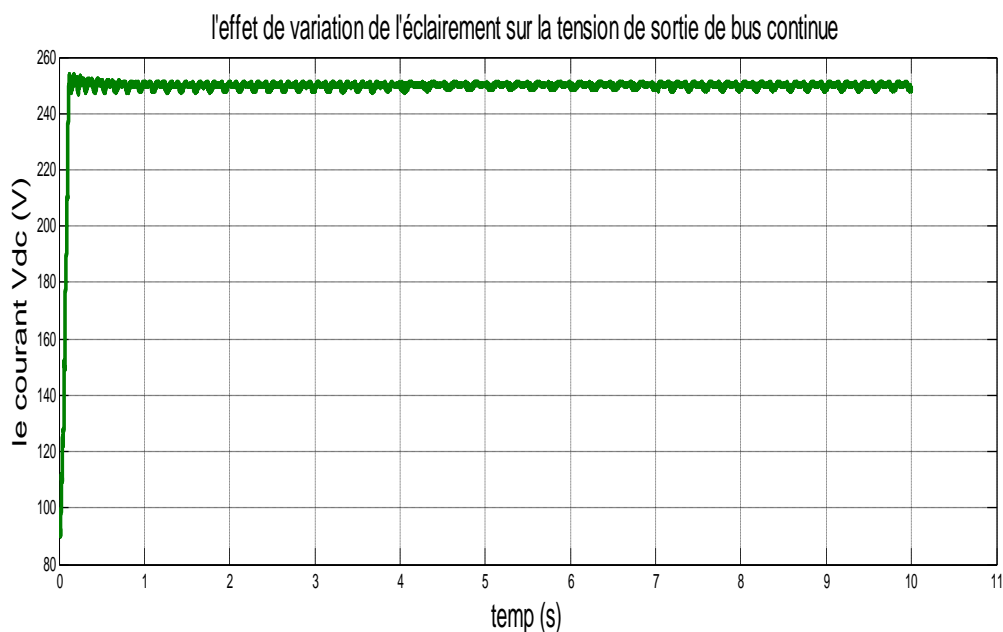
Donc il existe une relation de proportionnalité directe entre l'éclairement et le courant.

La figure (III.14) représente l'influence de l'éclairement sur la tension de générateur, on distingue que la tension reste très proche de valeur optimales.

Le figure (III.15) montre l'effet de variation de l'éclairement sur la puissance de GPV on constate tout d'abord que la puissance augmente relativement avec l'élévation de l'éclairement. Il est à remarquer aussi que la valeur de la puissance générée par le GPV est conforme à la puissance du point maximal relatif à chaque éclairement comme suit :

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2 ; P_{PV} = 2450 \text{ W}$
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2 ; P_{PV} = 1450 \text{ W}$
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2 ; P_{PV} = 1950 \text{ W}$

III.3.1.2 Résultats de simulation de l'hacheur :



La figure III.16 : Allure de la tension Vdc

La figure (III.16) représenté l'influence de l'éclairement sur la tension Vdc on remarque les perturbations de tension sur les trois périodes mais en moyenne elle reste maintenue par la boucle de régulation de la tension du bus continu.

III.3.3 Résultats de simulation de MAS :

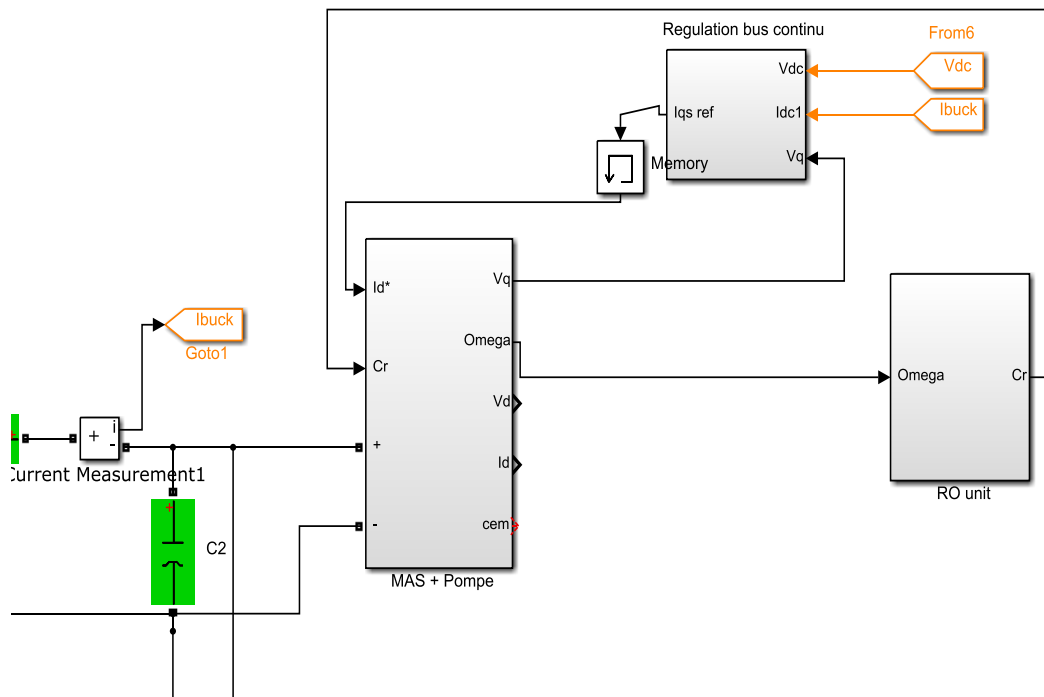


Figure III.17 : Modèle de simulation de la MAS, la pompe et l'unité RO

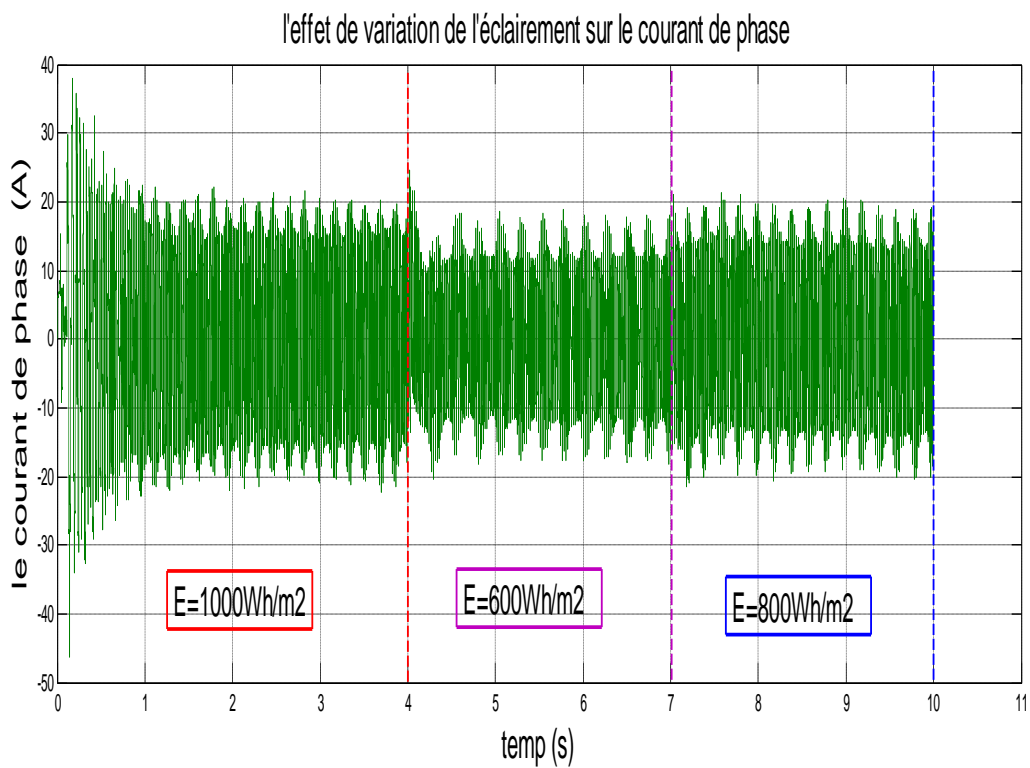


Figure III.18 : l'allure de courant de phase.

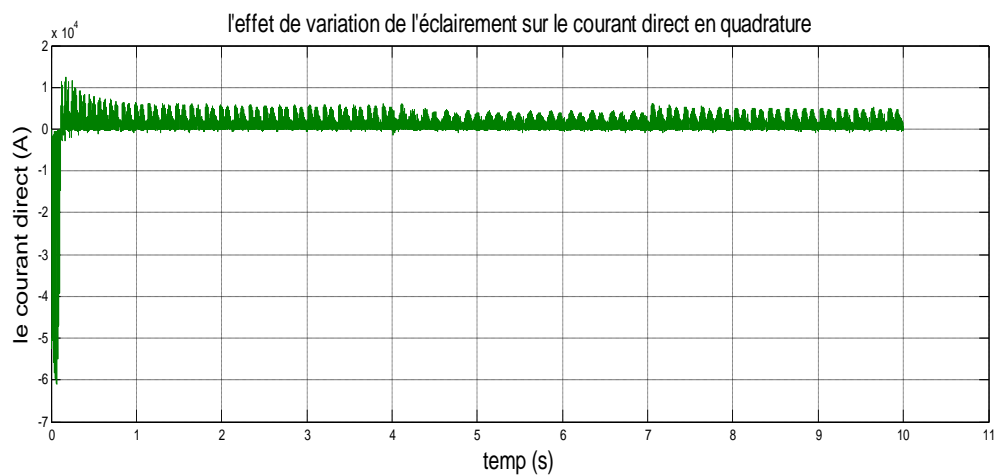


Figure III.19 : l'allure de courant direct en quadrature.

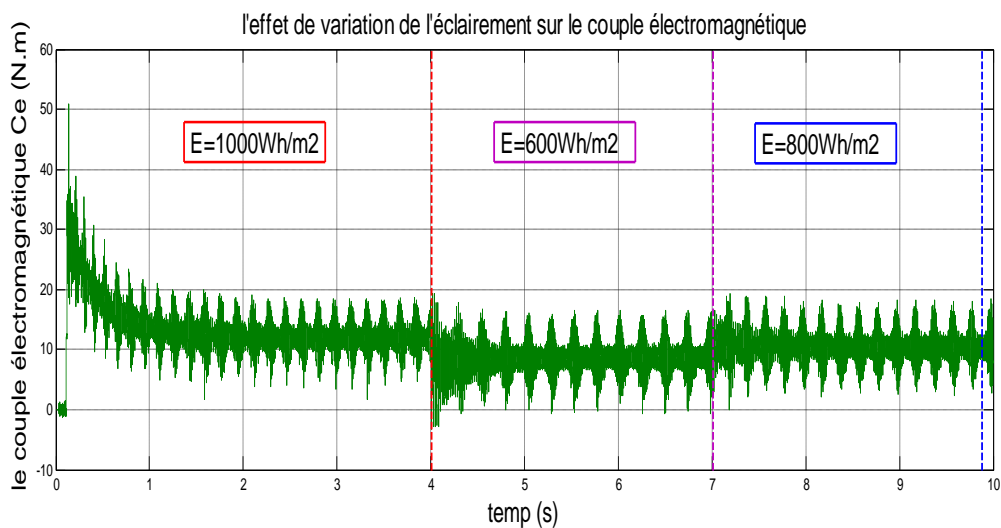


Figure III.20 : le couple électromagnétique de MAS.

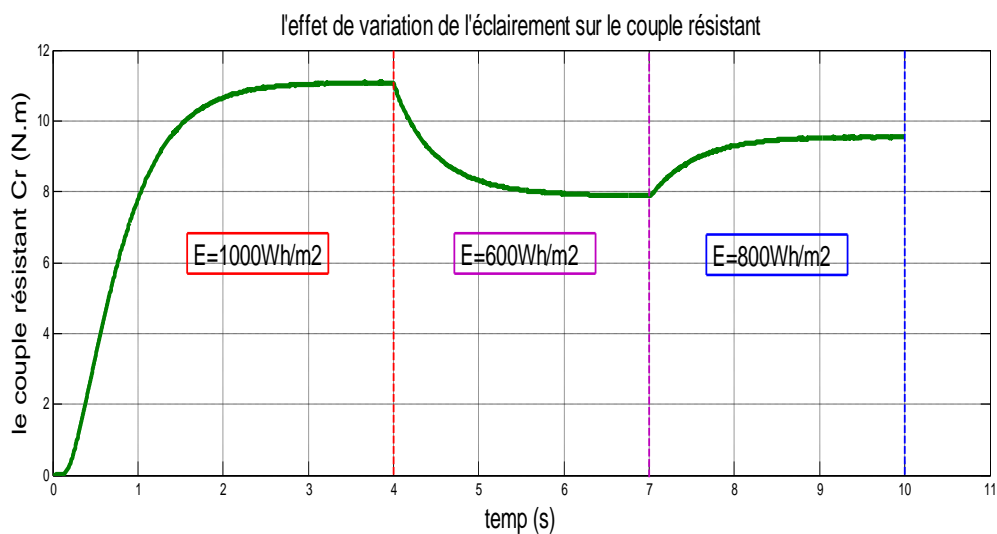


Figure III.21: le couple résistant de MAS

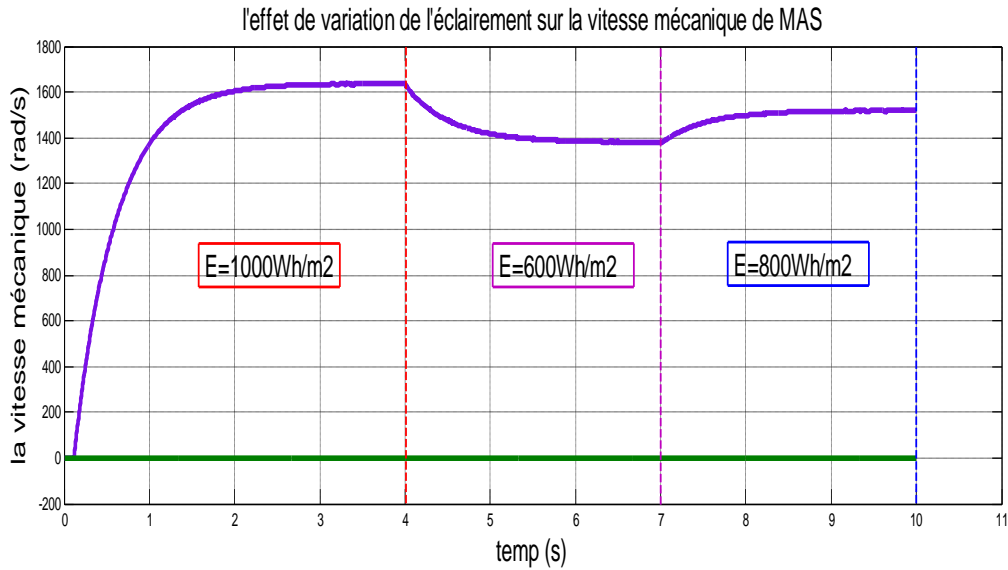


Figure III.22 : La vitesse mécanique de MAS

La figure (III.18) indique que le courant de phase ; On constate tout d'abord que l'apparence de courant sous forme d'un signal sinusoïdal.

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2$; nous remarquons que le courant marque le point maximal d'une valeur de 33.7 (A) , le courant de phase se réduit et se stabilise de 0.5 (s) à 2 (s) à 17 (A) .
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2$; le courant de phase diminue à 13 (A)
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2$; le courant augmente à une valeur de 15 (A)

Donc le courant est influencé par la variation de l'éclairement solaire, ce qui influence la performance de la machine asynchrone.

La figure (III.19) représente l'allure de l'influence de la variation de l'éclairement sur le courant direct, pour ce fonctionnement le courant direct et en quadrature suivent une trajectoire des valeurs de référence de la commande vectorielle.

- ❖ l'effet de l'éclairement sur les courants, qui est en une relation proportionnelle relative avec l'éclairement solaire.

L'éclairement influence le couple électromagnétique tel que montré sur la figure (III.20) :

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2$; **C électromagnétique** augmente brièvement d'une valeur de 30 N.m et diminue se forme de perturbation jusqu'à ralentir de 12 N.m

- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2$; C électromagnétique à réduire se forme de perturbation de **9 N.m**
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2$; C électromagnétique a risse se forme de perturbation de **10 N.m**

L'effet de variation de l'éclairement sur le couple résistant de la MAS tel que montré sue le figure (III.21)

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2$; C résistant accroit long jusqu'il stabiliser de **11.2 N.m**
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2$; C résistant diminue jusqu'il stagne à **7.9 N.m**
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2$; C résistant a risse jusqu'il s'immobilise à **9.5 N.m**.

L'influence de variation de l'éclairement sur la vitesse de MAS est exposé sur la figure(III.22) :

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2$; ω accroit long jusqu'elle se stabilise à **1640 rd/s**
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2$; ω diminue jusqu'elle se stagner de **1380 rd/s**
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2$; ω a augmenté jusqu'elle s'immobilise à **1520 rd/s**

En fin, on conclut que le C_e , C_r et ω varient proportionnellement avec l'éclairement solaire.

III.3.4 Résultats de simulation de la pompe HP:

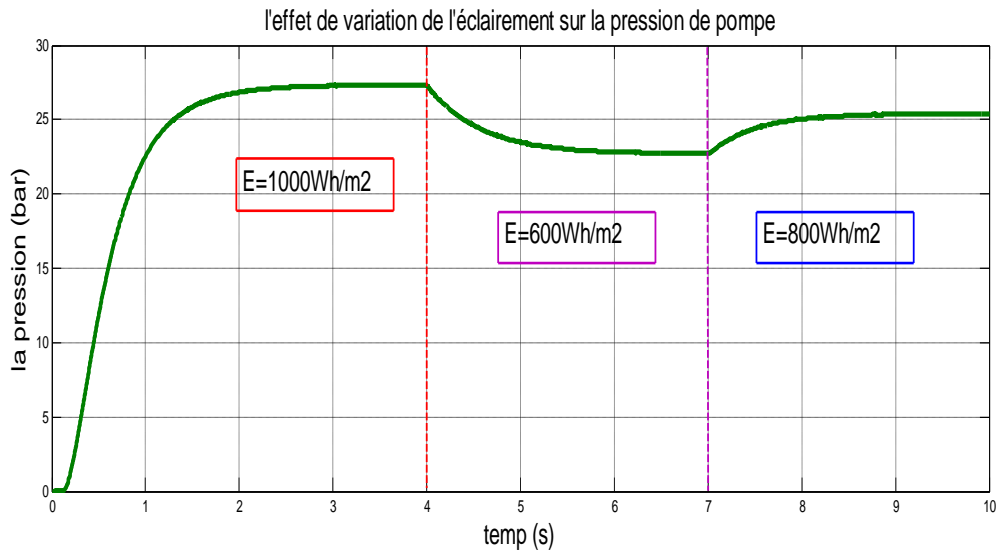


Figure III. 23: l'effet de variation sur la pression.

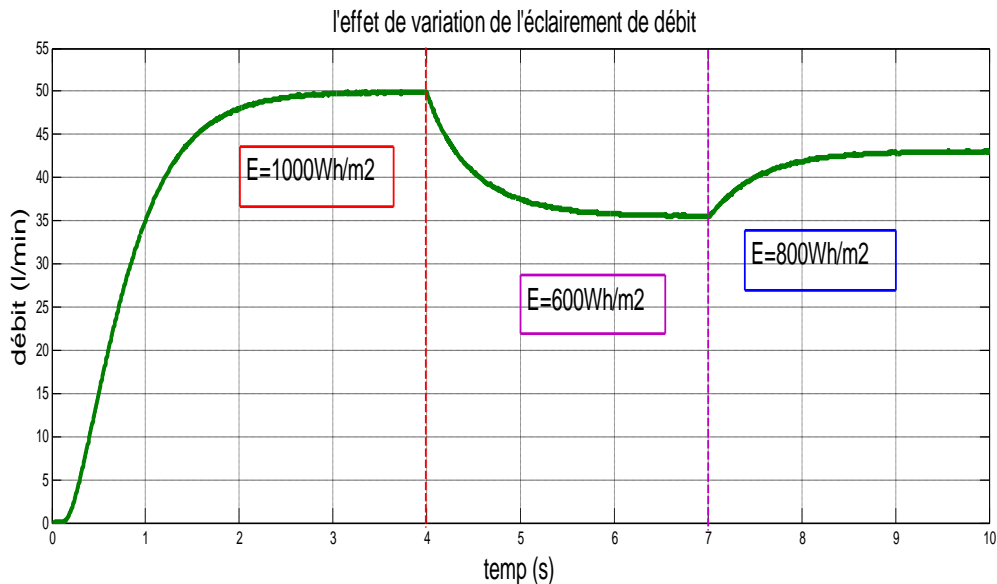


Figure III.24 : l'effet de variation sur le débit.

La figure (III.23) montre l'effet de variation de l'éclairement sur la pression de la pompe HP on remarque que la pression a varie :

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2$; la pression incrémente à partir de 0.12 (s) jusqu'à une valeur maximale de 27.3 (bar)
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2$; la pression a diminué jusqu'il se stagne à valeur de 22.72 (bar) .
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2$; la pression augmenté jusqu'il s'immobilisée à la valeur de 25.3 (bar) .

La figure (III.24) montre l'effet de variation de l'éclairement sur la pression de la pompe HP on remarque que la pression a varié :

- De $T = (0 \text{ à } 4) \text{ s} \rightarrow E = 1000 \text{ Wh/m}^2$; le débit augmente à partir de 0.12 (s) jusqu'à une valeur maximale de 50 (l/min)
- De $T = (4 \text{ à } 7) \text{ s} \rightarrow E = 600 \text{ Wh/m}^2$; le débit diminue jusqu'à 35.5 (l/min) .
- De $T = (7 \text{ à } 10) \text{ s} \rightarrow E = 800 \text{ Wh/m}^2$; la pression augmente jusqu'à 43 (l/min) .

La variation de l'éclairement influe sur le débit et la pression, donc influe sur la performance de la pompe HP.

III.3.5 Résultats de simulation de module RO:

Dans ce qui suit sont présentées les performances de l'unité de dessalement à osmose inverse.

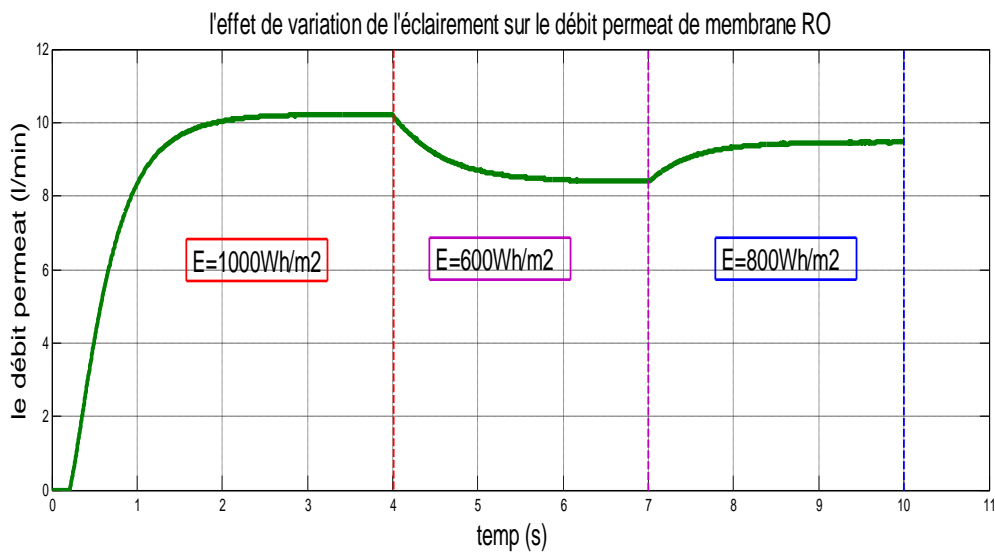


Figure III.25 : l'effet de variation de l'éclairement sur le débit permeat.

- ❖ La concentration de permeat est égale à 2 (g/l)

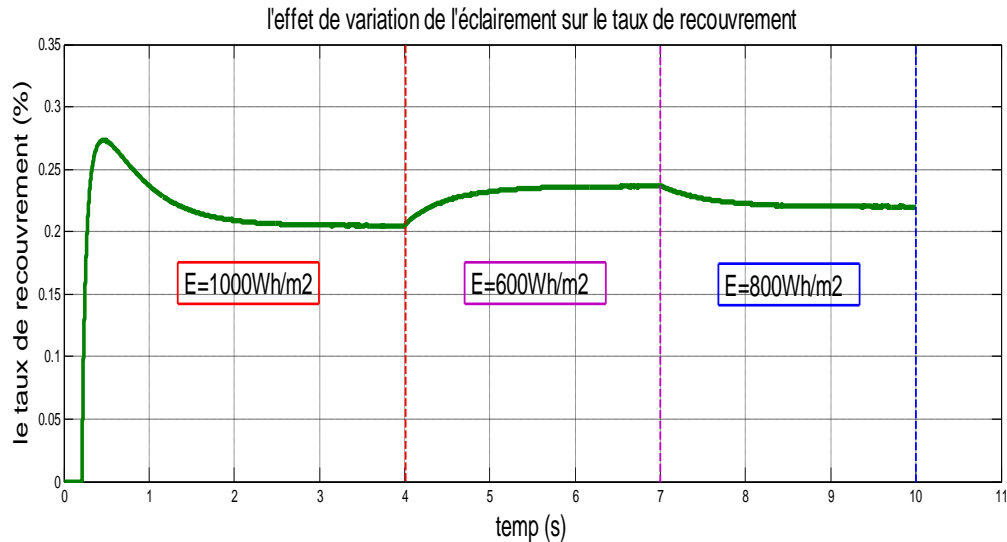


Figure III.26 : L'effet de variation de l'éclairement sur le taux de recouvrement.

Le figure (III.25) représente l'allure de débit perméat nous remarquons que le débit Commencer à incrémenter à partir de **0.21(s)** jusqu'il se stabilisée à la valeur de **10.2 (l/min)** à **2 (s)**, décrémente a partir de **2 jusqu'à 3.5 (s)** pour stabiliser à **8.4 (l/min)** et le débit augmenté a partir de **3.5 à 5 (s)** pour obtenir le **9.4 (l/min)**.

On conclut que la variation de l'éclairement influe relativement sur le débit alors la performance de membrane RO.

- ❖ Le taux de recouvrement égal à **0.3 %** est admissible pour le constructeur du membrane

La figure (III.26) montré l'allure de taux de recouvrement, l'éclairement influe sur le taux de recouvrement

- De **T= (0 à 4) s** → **E=1000Wh/m²** ; qui commencer à incrémenter à partir de **0.21 (s)** jusqu'à une valeur maximale de **0.27 %** puis il est diminué jusqu'il se stabilisée a la valeur de **0.205 %**.
- De **T= (4 à 7) s** → **E=600Wh/m²** ; le taux de recouvrement a augmenté jusqu'à **0.23%**.
- De **T= (7 à 10) s** → **E=800Wh/m²** ; le taux est réduit jusqu'il s'immobilise à une valeur de **0.22%**

En fin, on conclut que le taux de recouvrement décrémente avec l'augmentation de l'éclairement.

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation du système de dessalement à osmose inverse alimenté par d'énergie solaire. Les approches de contrôle des différents étages du système et la machine asynchrone ont amélioré la puissance à l'entrée de la pompe donc améliorant le débit du perméat à la sortie du module d'osmose inverse en plus l'influence du variation de l'éclairement sur le performance de notre système. Les résultats s'annoncent très satisfaisants grâce à la simulation par l'outil MATLAB/SIMULINK.

Conclusion générale :

Ce mémoire représente le système de dessalement au fil de soleil avec l'utilisation du procédé de membrane d'osmose inverse qui filtre l'eau saumâtre et alimenté par un système d'énergie photovoltaïque, nous avons présenté la configuration des composants de ce système en adoptant des méthodes de commande afin d'améliorer les performances du système de dessalement. En plus nous avons testé notre système sous la variation de l'éclairement qui peut influencer proportionnellement sur le débit de la pompe.

Le générateur photovoltaïque est commandée par l'algorithme perturbe et observe (P&O) qui nous a permis de maximiser la puissance de notre système solaire.

Le contrôle de la machine asynchrone basé sur la commande vectorielle (flux orientée) a permis d'acheminer la puissance maximisée vers la partie mécanique de la pompe centrifuge qui alimente la membrane RO pour produire l'eau dessalée

Le but de la stratégie de commande adoptée est améliorer le rendement global du système, les résultats de simulation nous ont permis de constater les points suivants :

- L'augmentation de la puissance utile de la MAS.
- L'amélioration du débit du perméat de la pompe.

Vu l'influence de la variation de l'éclairement et son caractère intermittent sur la puissance de générateur PV et sur la performance du procédé de membrane RO ,c nous proposons comme perspective à cette étude d'utiliser les sources hybrides comme solution à ce déficit et pousser des recherches sur les moyens de stockage de l'énergie électrique qui peuvent apporter des améliorations aux systèmes de dessalement fonctionnant avec les énergies renouvelables.

Bibliographie

- [1] : SELLAMI Mohamed Hassen, Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région de sud-est Algérien (OUARGLA), thèse de Doctorat en Sciences Physiques, 2014
- [2] : GOURAI Khadija, Osmose Inverse Alimentée par l'Énergie Solaire pour le Dessalement des Eaux Saumâtres et Tests d'Adsorption sur la Bentonite Activée, thèse de doctorat en Physico-chimie des Matériaux, 2018
- [3] : ALLAM Khadija, Distillation Membranaire des Eaux Saumâtres par Energie Solaire Thermique, thèse de doctorat en Physico-chimie des Matériaux, 2018
- [4] : CHARROUF Omar, Optimisation d'Un Système De Dessalement Renouvelable, thèse de Magister en Electrotechnique-énergie renouvelable, 2012
- [5] : BENAÏSSA Fatima Zohra, Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, mémoire de master en Hydraulique - Technologies de Traitement des Eaux, 2013
- [6] : ZIZI Nabila, stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie : choix des sites prioritaires, les technique utilisées et leur s impacts positives et négatives sur leur environnement immédiat, thèse de Magister en science de la terre-hydrogéologie, 2013
- [7] : Mattheus Goosen, Hacene Mahmoudi, Noredine Ghaffour et Shyam S. Sablani, Application of Renewable Energies for Water Desalination, Desalination, Trends and Technologies, Michael Schorr (Ed.), ISBN: 978-953-307-311-8, p20, 2011.
- [8] : HANANOU FATIHA, ROUABAH AICHA, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque, mémoire de master en Electrotechnique industrielle, 2014
- [9] : MAYOUF Somia, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique avec une commande vectorielle, mémoire de master en génie électrique, 2016
- [10] : Ismail HADDAD, Modélisation Avancée d'un Panneau Solaire, mémoire de master en électronique –instrumentation, 2019
- [11] : CHEKKAF Ikram, BOUZIANE Mohammed Amine, Etude et modélisation des hacheurs boost multi-niveaux dédiés aux systèmes photovoltaïques, mémoire de master en électrotechnique- énergie et environnement, 2019
- [12] : BOUDJTAT Walid, HIMOURA Abdelkader, Etude et simulation d'une machine asynchrone aimanté par un onduleur de tension à commande MLI, mémoire de master en électrotechnique, 2017
- [13] : ABDALLAH BENKHATTOU hocine, Analyse et diagnostic des pompes industrielles (Etude de cas au niveau de HENKEL Ain Temouchent), mémoire de master en génie mécanique, 2012

Bibliographie

[14] : BOUCHARB Abderrezak, Etude théorique et expérimentale de dessalement par osmose inverse de l'eau saumâtre, DOCTORAT LMD en Chimie des matériaux et de l'environnement,2019

[15] : <https://algeriesolidaire.net/bientot-quatre-nouvelles-stations-de-dessalement-deau-de-mer/>

[16] : <https://sites.google.com/site/kjdesalination/solar-and-geothermal-desalination>

[17] :Bekele Debele Negewo , renewable energy disalination, an amerging solution to close the water gap in the middele east and north Africa ,MENA development report 2012,p24

[18] : Yassine LASMI, Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque par les techniques intelligentes, mémoire de master en Réseaux Electriques,2013

[19] : BENADEL Faiza, Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV, mémoire de master en commande des systèmes électriques, 2016

[20] : LEBSIR Elaid, GUIBECHE Lakhdar, BENLAOUDA Abdelkarim, Commande vectorielle de la machine asynchrone sans capteur mécanique, mémoire de master en commande électrique ,2012

[21] : Akkila BOUKHELIFA,les éléments d'optimisation du pilotage d'une machine asynchrone en vue d'un contrôle vectoriel, thèse de doctorat en électrotechnique,2007

Résumé : Ce document, montrée un système de dessalement renouvelable. A l'aide de membrane osmose inverse ce système alimenté par l'énergie solaire, Cette méthode est basée sur le générateur photovoltaïque reliée à une machine asynchrone à flux orienté (la commande vectoriel). Pour étant un système linéaire facile à régler et alliant les caractéristiques du moteur asynchrone à cage à la flexibilité de commande associe par un moteur a haute pression qui injecter l'eau à la membrane osmose inverse qui a l'objective de filtré l'eau non buvable, Les résultats de simulation par l'outil MATLAB/SIMULINK sont présentés pour valider la robustesse et l'efficacité de cette stratégie de command.

Mots clés : osmose inverse, dessalement, énergie solaire, command.

Abstract this document shows a renewable desalination system. Using a reverse osmosis membrane, this system powered by solar energy, this method is based on the photovoltaic generator connected to an asynchronous flow-oriented machine (the vector command). For being a linear system easy to adjust and combining the characteristics of the asynchronous squirrel cage motor with the flexibility of control associated with a high pressure motor which will inject water non drinkable to the reverse osmosis membrane which has the objective of filtering the water, The simulation results by the MATLAB / SIMULINK tool are presented to validate the robustness and the effectiveness of this command strategy.

Keywords: reverse osmosis, desalination, solar energy, command.

ملخص- توضح هذه المستند نظام تحلية بواسطة الطاقات المتجددة. باستخدام غشاء التناضح العكسي هذا النظام مدعوم بالطاقة الشمسية ، تعتمد هذه الطريقة على المولد الكهروضوئي المتصل بمولد موجه للتدفق غير متزامن (الأمر المتجه). لكونه نظامًا خطيًا سهل الضبط والجمع بين خصائص محرك قفص السنجاب غير المتزامن ومرونة التحكم المرتبطة بمحرك عالي الضغط والذي يحقن الماء في غشاء التناضح العكسي الذي يهدف إلى ترشيح المياه غير صالحة للشرب ، يتم تقديم نتائج المحاكاة بواسطة أداة MATLAB / SIMULINK للتحقق من قوة وفعالية استراتيجية الأمر.

الكلمات المفتاحية: التناضح العكسي ، التحلية ، الطاقة الشمسية ، التحكم.