

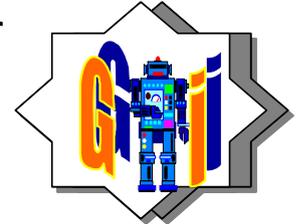
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
& de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE BATNA



Faculté des Sciences de l'ingénieur
Département Génie Industriel



Thèse
Doctorat en Sciences

Par :
BELLALA Djamel

Thème

**CONTRIBUTION À L'OPTIMISATION DES
SYSTÈMES DE CONVERSION
D'ÉNERGIE.
APPLICATION AUX SYSTÈMES
PHOTOVOLTAÏQUES**

Soutenue le :

devant le jury :

Qualité

Jury

Grade & Affiliation

Président :

Dr. BOUGUECHAL Nour-Eddine

Prof. U. Batna

Rapporteur :

Dr. SAIDI Lamir

M.C. U. Batna

Examineur :

Dr. BAHY Tahar

M.C. U. Annaba

Examineur :

Dr. BOUHARKAT Abdelmalik

M.C. U. Batna

Examineur :

Dr. CHAFAA Kheireddine

M.C. U. Biskra

Examineur :

Dr. BENZID Rédha

M.C. U. M'Sila

Remerciements

Je tiens, tout d'abord à remercier :

Monsieur **Lamir SAIDI**, Maître de Conférences de l'Université de Batna et Adjoint au Chef de département d'Électronique chargé de la Post Graduation, d'avoir accepté la direction scientifique de ce travail de recherche. Je lui exprime toute ma gratitude pour son expérience, son art de la multi - compétence, son soutien inconditionnel et ses qualités humaines.

Je remercie tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :

Monsieur **BOUGUECHAL Nour-Eddine**, Professeur de l'Université de Batna et Doyen de la faculté des Sciences de l'Ingénieur, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse

Monsieur **BAHI Tahar**, Maître de Conférences de l'Université de Annaba pour la participation au jury en tant qu'examineur,

Monsieur **BOUHARKAT Abdelmalik**, Maître de Conférences de l'Université de Batna, pour la participation au jury en tant qu'examineur,

Monsieur **CHAFAA Kheireddine**, Maître de Conférences de l'Université de Biskra, pour la participation au jury en tant qu'examineur,

Monsieur **BENZID Rédha**, Maître de Conférences de l'Université de M'Sila, pour la participation au jury en tant qu'examineur,

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à tout le personnel du département Génie Industriel pour leurs compétences, leur disponibilité et leur gentillesse.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble de mes professeurs, mes collègues et plus particulièrement à Bachir ABDELHADI et Med DJARALLAH.

Merci à toute les personnes que je n'ai pas citées et qui ont de près ou de loin participé à la réalisation de ce travail. Merci pour leur sympathie et simplement pour le plaisir que j'ai eu à les côtoyer quotidiennement.

Je voudrais remercier tout particulièrement mes parents ainsi que tous les membres de ma famille de leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon cursus.

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre 1	
CARACTERISATION DE LA TECHNOLOGIE DE L'ENERGIE RENOUVELABLE	6
1.1 Introduction	6
1.2 Génération d'énergie renouvelable	6
1.2.1 Génération de la chaleur	7
1.2.1.1 Thermo solaire	8
1.2.1.2 Géothermie	9
1.2.1.3 Biomasse	10
1.2.2 Génération d'électricité	12
1.2.2.1 Photovoltaïque	12
1.2.2.2 Hydraulique	14
1.2.2.3 Energie de la mer	15
1.2.2.4 Production éolienne	16
1.3 Evaluation de l'énergie renouvelable en Algérie	17
1.3.1 Potentiel solaire	17
1.3.2 Potentiel éolien	18
1.3.3 Potentiel de l'énergie géothermique	19
1.3.4 Potentiel de l'hydroélectricité	19
1.3.5 Le potentiel de la biomasse	20
a) Potentiel de la forêt	20
b) Potentiel énergétique des déchets urbains et agricoles	20
1.3.6 Bilan des réalisations	20
a) Bilan des réalisations par wilaya	20
b) Répartition de la puissance installée par Application	22
c) Répartition de la puissance installée par ressource	22
1.4 Conclusion	23
Chapitre 2	
SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE, PRINCIPE, TECHNOLOGIE ET APPLICATIONS	24
2.1 Notion de lumière	24
2.1.1 Couleur et longueur d'onde	24
2.1.2 La photopile et la lumière	25
2.2 Rayonnement Solaire	25
2.2.1 Rayonnement solaire et atmosphère	26
2.2.2 Rayonnement global intégré	28
2.2.3 Orientation et inclinaison	29
2.3 Les Photogénérateurs	30
2.3.1 Conversion de la lumière en électricité	30

2.3.2	Structure d'un photogénérateur	32
2.3.2.1.	Photogénérateur au silicium cristallin	32
2.3.2.2	Photogénérateur au silicium amorphe	34
2.3.3	Fonctionnement d'un photogénérateur	34
2.3.4	Point de puissance maximale	35
2.3.5	Puissance crête/rendement	36
2.3.6	Couplage d'un photogénérateur avec un récepteur	36
a)	1 ^{er} cas : Charge résistive	36
b)	2 ^{ème} cas : charge d'une batterie	37
2.3.7	Schéma équivalent d'un photogénérateur	37
2.3.8	Influence de l'éclairement et de la température	39
2.3.8.1	Sous un ensoleillement fort (utilisation en extérieur)	39
2.3.8.2	Sous éclairage faible (en usage intérieur)	39
2.4	Différentes technologies	39
2.4.1	Arséniure de Gallium (GaAs)	39
2.4.2	Silicium monocristallin	40
2.4.3	Silicium poly (ou multi-) cristallin	40
2.4.4	Silicium amorphe	40
2.4.5	CuInSe ₂ (CIS)	41
2.4.6	Tellure de Cadmium (CdTe)	42
2.5	Stockage de l'énergie	42
2.5.1	Autonomie « sans apport solaire »	43
2.5.2	Principe du couplage photogénérateur batterie	43
2.5.3	Montage de plusieurs accumulateurs sur le même système	44
2.5.4	Principales caractéristiques des accumulateurs	44
2.5.4.1	Tension nominale	44
2.5.4.2	Tension de charge	45
2.5.4.3	Capacité de la batterie	45
2.5.4.4	Charge de la batterie	45
2.5.4.5	Décharge de la batterie	46
2.6	Technologies d'accumulateurs et leur adéquation au solaire	46
2.6.1	Les accumulateurs au plomb « ouvert »	46
2.6.2	Les accumulateurs Plomb étanche	47
2.6.3	Les accumulateurs Nickel Cadmium (NiCd)	48
2.6.4	Les accumulateurs Nickel Métal Hydrures (NiMH)	48
2.6.5	Les accumulateurs au Lithium	49
2.6.6	Les condensateurs et super capacités	49
2.7	Contrôle de charge	49

2.7.1 Les diodes anti-retour	49
2.7.2 Fonctions d'un régulateur de charge	50
2.8 Secteurs d'application	52
2.8.1 Produits grand public employés en intérieur	52
2.8.2 Produits grand public à usage extérieur	53
2.8.3 Habitat isolé	53
2.8.4 Raccordement au réseau	53
2.8.5 Equipements professionnels	54
2.8.6 Centrales solaires	54
2.9 Optimiser et économiser	54
2.9.1 Optimiser le temps de fonctionnement	55
2.10 Dimensionnement d'une application	55
2.10.1 Evaluer la consommation	56
2.10.2 Le stockage	56
2.10.3 Détermination de la capacité de l'accumulateur	56
2.10.4 Choix de la technologie	56
2.10.5 Contraintes	57
2.11 Evaluation de l'énergie solaire (ou lumineuse) récupérable	57
2.11.1 En intérieur	57
2.11.2 En extérieur	57
2.11.3 Les photogénérateurs et le choix de la tension de fonctionnement	57
2.12 Puissance du photogénérateur	58
2.12.1 En extérieur	58
2.12.2 En intérieur	59
2.12.3 Photopiles pour usage intérieur	59
2.12.4 Applications en courant alternatif	59
2.13 Conclusion	60

Chapitre 3

MODELISATION ET ETUDE COMPARATIVE DES PERFORMANCES DES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

3.1 Introduction	62
3.2 Modèle idéal	62
3.3 Modèle avec pertes ohmiques	64
3.4 Modèle à une diode (one diode model)	64
3.5 Modèle à deux diodes	66
3.6 Simulation et interprétation des courbes	67

3.6.1 Modèle général de l'organigramme du calcul de la caractéristique courant

$I = f(V)$ et puissance tension	67
3.6.2 Modèle idéal	68
3.6.3 Modèle avec une résistance série	69
3.6.4 Modèle avec une diode (résistance série et parallèle)	70
3.6.5 Modèle avec deux diodes	71
3.7 Comparaison des caractéristiques par modèle	72
3.7.1 Cas de l'éclairement AM1.5 (conditions STC)	72
3.7.2 Effet de la température sur le photogénérateur	73
3.7.3 Effet de la température sur la tension du circuit ouvert	76
3.7.4 Effet de la température sur le courant de court circuit	77
3.7.5 Effet de la température sur le facteur de forme	77
3.7.6 Effet de la température sur le rendement énergétique	78
3.8 Etude comparative par erreur quadratique	78
3.8.1 Erreur simple	79
3.8.2 Erreur quadratique	81
3.9 Conclusion	82

Chapitre 4

THÉORIE DE LA DECISION, MODELISATION ET OPTIMISATION	84
4.1 Introduction	84
4.2 Programmation Linéaire	85
4.2.1 Présentation	85
4.2.2 Forme Canonique	86
4.2.3 Propriétés	87
4.2.4 Solution du Problème	88
4.2.5 Forme Standard d'un Programme Linéaire	88
4.2.6 Solution de Base	89
4.2.7 Applications	89
4.2.7.1 Cas particulier des Problèmes de Transport	89
4.2.7.2 Cas particulier des Problèmes de Planification de la Production	90
4.2.8 Les Méthodes Numériques	93
4.2.8.1 Méthode du Simplex	93
4.3 Programmation dynamique	96
4.3.1 Processus de décision séquentiel (PDS)	97
4.3.2 Concept de la programmation dynamique	97
4.3.3 Un modèle de PDS déterministe	98
4.3.4 Algorithme de Bellmann-Ford	99
4.4 Conclusion	100

Chapitre 5
OPTIMISATION DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE D'UN MODULE
PHOTOVOLTAÏQUE

	102
5.1. Introduction à l'Optimisation	102
5.1.1 Obtention de la Meilleure Solution	102
5.1.2 C'est quoi l'Optimisation?	102
5.2. Outils d'Optimisation	103
5.2.1. Solveur	104
5.2.1.1. Algorithme et Méthodes utilisés par le Solveur	104
5.2.1.2. Définition et Résolution d'un Problème à l'aide du Solveur	105
5.2.2. Les Algorithmes Génétiques	106
5.2.2.1. Mécanismes de Base des Algorithmes Génétiques (AGs)	107
a. Codage et Population Initiale	109
b. Les Opérateurs	110
b.1 Opérateur de Sélection	110
b.2 Opérateur de Croisement	111
b.3 Opérateur de Mutation	112
b.4 Autres paramètres	113
c. Le codage réel	114
d. Opérateur de croisement	115
e. Opérateur de mutation	117
5.3 Optimisation par Algorithme Génétique Continu du Point de Puissance sous Différentes Conditions Climatiques	1
5.3.1 Modélisation du Générateur Photovoltaïque	120
5.3.2. Organigramme de l'Algorithme Génétique	122
5.3.3. Résultats Analyse & Discussion	122
5.3.4. Représentation Graphique	124
5.3.5. Conclusion	127
Conclusion Générale	128
Bibliographie	130
Annexes	134