

enne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaïa

Faculté de Technologie

Département d'Electrotechnique

Mémoire

En vue d'obtention du diplôme de magister en Génie électrique

Option : Système Electro-Energétique

Présenté par : Roumila Zoubir

Ingénieur d'Etat en Electromécanique : Université de Béjaïa

Thème

Commande d'un système d'énergie hybride
(Photovoltaïque - éolien- diesel)

Devant le jury :

Président	: Mr R. Saou	Maitre de conférence	Univ, Bejaia
Rapporteur	: M ^{me} Dj. Rekioua	Professeur	Univ, Bejaia
Examineur	: Mr B. Azoui	Professeur	Univ, Batna
Examineur	: Mr S. Berrah	Maitre de conférence	Univ, Bejaia

Décembre 2009



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Remerciements

Je remercie très vivement Madame **Dj. Rekioua**, Professeur à l'université de Béjaia, pour avoir dirigé ce travail, pour la confiance et l'intérêt qu'elle a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail, pour sa disponibilité ainsi de m'avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques.

Je tiens à remercier Monsieur **R. Saou**, Maître de Conférences à l'université de Bejaia, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je tiens également à remercier Monsieur **B. Azoui**, Professeur à l'université de Batna, pour l'honneur qu'il me fait en participant au jury.

Mes remerciements vont également à Monsieur **S. Berrah**, Maître de Conférences à l'université de Bejaia, pour l'intérêt qu'il a manifesté pour ce travail en participant au jury.

Je ne saurais exprimer à Monsieur **T. Rekioua**, Professeur à l'université de Béjaia, tout ce que je lui dois sur le plan scientifique et humain. Je le remercie pour son aide, de m'avoir fait profiter de son expérience et d'avoir été à la fois un critique très rigoureux et un guide très amical.

Je tiens également à remercier tous ceux qui de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce travail.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Dédicaces



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes parents.
- Mes frères et sœurs.
- Ma fiancée et toute sa famille.
- Tout (es) mes amis (es).



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Sommaire

Introduction générale01

Chapitre I : Description du système d'énergie hybride

Introduction 03

I.I Différentes architectures et classifications des systèmes hybrides..... 03

I.1.1 Architecture à bus à CC 04

I.1.2 Architecture mixte à bus à CC/CA 05

I.2 Classifications des systèmes d'énergies hybrides 07

I.3 Système hybride étudié 08

I.4 Description de la chaîne de conversion éolienne 09

I.4.1 Puissance récupérable par une éolienne 09

I.4.2 Les différents types de turbines 10

I.4.3 Type d'installation 11

I.4.4 Composants classiques d'une éolienne 11

I.5 Description de la chaîne de Conversion d'énergie solaire 12

I.5.1 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque 13

I.5.2 Association en série et en parallèle des cellules photovoltaïque 13

I.5.3 Puissance d'une cellule photovoltaïque 14

I.5.4 Fonctionnement et constituant d'un système photovoltaïque 15

I.6 Générateur diesel 16

I.6.1 Caractéristiques du système diesel..... 17

I.7 Systèmes de stockage..... 18

I.8 Convertisseurs 19

I.9 Charges 20

I.10 Commande des SEH..... 20

I.11 Stratégie de fonctionnement 20

I.12 Contraintes de fonctionnement des SEH..... 21

Conclusion 21

Chapitre II : Modélisation du système d'énergie hybride

Introduction 23

II.1 Modélisation du générateur PV 23

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

.....	29
aux photovoltaïques	29
II. 3 Modélisation du générateur éolien	33
II.3.1 Modélisation de la turbine	33
II.3.2 Modélisation du couplage mécanique	34
II.3.3 Modélisation de la génératrice synchrone à aimant permanent	35
II.3.4 Modélisation de redresseur à diodes	38
II.3.5 Modélisation du hacheur Buck-Boost (dévolteur- élévateur)	38
II.3.5.1 Principe de fonctionnement	39
II.3.5.2 Modèle moyen du hacheur Buck-Boost	41
II.4 Modélisation de l'onduleur.....	42
II.5 Modélisation de la batterie	43
Conclusion	44
<u>Chapitre III : Commande de système d'énergie hybride</u>	
Introduction	45
III.1 Commande du générateur photovoltaïque	46
III.1.1. Méthode « Perturbation et Observation »	47
III.1.2 Méthode « conductance incrémentielle »	48
III.1.3 Résultats de simulation.....	50
III.2 Commande de la chaîne de conversion éolienne	55
III.2.1 Commande vectorielle	55
III.2.1.1 Résultats de simulation	56
III.2.2 Commande MPPT	59
III.2.2.1 Détermination du rapport cyclique optimal	61
III.2.2.2 Simulation de la chaîne	64
III.3 Stratégie de fonctionnement	70
III.3.1 Modélisation du gestionnaire d'énergie	70
III.3.2 Simulation du système complet	72
Conclusion	75
<u>Chapitre IV : Dimensionnement et simulation de système d'énergie hybride</u>	
Introduction.....	76
IV.1 Détermination du profil de charge.....	76

e solaire et éolien disponible à Bejaia	78
ques	78
IV.2.2 Estimation de la vitesse du vent et d'arradiation solaire	79
IV.2.2.1 Variation de la vitesse du vent à Bejaia	79
IV.2.2.2 Les données d'insolation pour la région de Bejaia	80
IV.3 Estimation du flux global d'arradiation solaire sur le plan horizontal	80
IV.4 Estimation du flux global d'arradiation solaire sur le plan incliné	83
IV.5 Caractéristiques des énergies photovoltaïque et éolienne	85
IV.5.1 Générateur photovoltaïque.....	85
IV.5.2 Générateur éolien.....	85
IV.6 Dimensionnement du système hybride	86
IV.6.1 Dimensionnement du générateur photovoltaïque et éolien	88
IV.6.2 Taille de la batterie	89
IV.6.3 Dimensionnement du groupe électrogène d'appoint	90
IV.7 Simulation du système hybride dimensionné	90
Conclusion	94
Conclusion générale.....	95
Références bibliographiques	97
Annexes	100



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Liste des Figures

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

		Pages
	orides.	04
I.2	Configuration du SEH à bus CC.	05
I.3	Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA.	06
I.4	Le système d'énergie hybride étudié.	08
I.5	Coefficient aérodynamique de puissance en fonction de la vitesse de rotation normalisée.	10
I-6	Structure de la chaîne de conversion éolienne.	12
I.7	Caractéristique d'une cellule photovoltaïque.	13
I.8	Cellules, module et panneau photovoltaïques.	13
I.9	Influence de l'éclairement et de la température sur la caractéristiques puissance/tension d'un générateur photovoltaïque.	14
I.10	Chaîne de conversion photovoltaïque autonome.	15
I.11	Configuration du générateur diesel.	16
I.12	Schéma synoptique du groupe électrogène.	17
II.1	Schéma d'une installation type d'un système d'énergie hybride (PV-éolienne-groupe diesel).	23
II.2	Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.	24
II.3	Caractéristiques électrique : courbe courant-tension d'un module photovoltaïque.	26
II.4	Caractéristique puissance-tension d'un panneau photovoltaïque pour $G=1000\text{W/m}^2$ et $T_c=25^\circ\text{C}$	30
II.5	Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque pour $G=1000$	30
II.6	W/m^2 et $T_c=25^\circ\text{C}$.	31
II.7	Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque pour différents niveaux d'irradiation ($G=200, 400, 600, 800, G=1000\text{W/m}^2$) et $T_c=25^\circ\text{C}$.	31
II.8	Caractéristique puissance-tension d'un panneau photovoltaïque pour différents niveaux d'irradiation ($G=200, 400, 600, 800, 1000\text{W/m}^2$) et $T_c=25^\circ\text{C}$.	32
II.9	Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque pour différents niveaux de température ($T_c = T_j = 0, 25, 50, 75^\circ\text{C}$) et $G = 1000\text{W/m}^2$.	32
II.10	Caractéristique puissance-tension d'un panneau photovoltaïque pour différents niveaux de température ($T_c = T_j = 0, 25, 50, 75^\circ\text{C}$) et	33
II.11	$G=1000\text{W/m}^2$.	33
II.12		34
II.13		35
II.14		36
II.15	Chaîne éolienne de petite puissance. Entrées-sorties du modèle de la voilure.	40
II.16	Caractéristique de la voilure étudiée.	40
II.17	Le couplage mécanique entre la turbine et la machine électrique	41
II.18	Représentation symbolique de la MSAP	41
II.19	Caractéristique de fonctionnement du Buck-Boost suivant le rapport cyclique.	42
II.20		44

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

	ost. nnement. Deuxieme sequence de fonctionnement. Chronogramme des signaux principaux du hacheur inverseur. Schéma électrique de l'onduleur MLI de tension. Modèle électrique de la batterie.	45
III.1	Principe de la commande du système d'énergie hybride.	46
III.2	Schéma de principe du MPPT.	48
III.3	Diagramme fonctionnel algorithme "perturbation et observation"	49
III.4	Evolution de la puissance disponible en fonction de la tension aux bornes d'un panneau.	50
III.5	Diagramme fonctionnel algorithme "Conductance incrémentielle".	51
III.6	Puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau d'irradiation ($E=G=200, 400, 600, 800, 1000W/m^2$) et $T=25^{\circ}C$.	52
III.7	Puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau de température ($T= T_c=15, 20, 25, 30, 35$) et $G=1000W/m^2$.	52
III.8	Variation de l'éclairement, de la température et de la puissance maximale estimée en fonction du temps.	53
III.9	Puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau de température et d'éclairement.	53
III.10	Variation de l'éclairement et de la température en fonction du temps pour une journée d'été.	54
III.11	Points de puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau de température et d'éclairement (figure A Caractéristique courant-tension, figure B : caractéristique puissance-tension).	54
III.12	Variation de tension aux points de puissance maximale en fonction du temps sur une journée.	55
III.13	Variation de courant aux points de puissance maximale en fonction du temps sur une journée.	55
III.14	Variation de la puissance maximale en fonction du temps sur une journée.	55
III.15	Le courant de sortie du régulateur MPPT en fonction du temps sur une journée.	55
III.16	La tension de sortie du régulateur MPPT en fonction du temps sur une journée.	55
III.17	Schéma de principe de la commande vectorielle.	56
III.18	Profil de la vitesse de la vitesse du vent.	58
III.19	Allure de la vitesse de la génératrice.	58
III.20	Allure du couple électromagnétique développé par la génératrice.	58
III.21	Allure des courants induits.	59
III.22	Zoom des courants induits	59
III.23	Allure du courant I_{dc} .	59
III.24	Allure de la tension V_{dc} .	60
III.25	Allure de la puissance aux différents niveaux de la chaine.	60
III.26	Schéma de la chaine étudiée	61
III.27	Représentation schématique de l'ensemble étudié	62
III.28	Schéma équivalent d'une phase de la génératrice.	63

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

	proposée.	65
		66
III.31	Allure de la vitesse de rotation de la génératrice.	66
III.32	Allure de la puissance mécanique de la turbine éolienne.	66
III.33	Allure de la puissance électrique fournie par la génératrice.	67
III.34	Allure de la puissance reçue par les batteries.	67
III.35	Allure des courants induits.	67
III.36	Zoom sur les courants induit.	68
III.37	Allure des tensions induites.	68
III.38	Zoom des tensions induites.	68
III.39	Allure du couple électromagnétique de la génératrice.	69
III.40	Allure de la tension redressée.	69
III.41	Zoom de la tension redressée.	69
III.42	Allure du rapport cyclique.	70
III.43	Allure de la tension Vdc.	70
III.44	Allure du courant reçu par les batteries.	70
III.45	Schéma bloc du gestionnaire d'énergie.	73
III.46	Schéma bloc du système hybride étudié sous MATLAB.	74
III.47	Profil de l'éclairement et de la vitesse du vent pris comme référence.	75
III.48	Les signaux de commande des relais des générateurs PV, éolien, groupe électrogène et tension des batteries.	75
III.49	Allure de puissance de différentes sources du système d'énergie hybride.	76
IV.1	Profil de puissance demandé par la charge (foyer isolé) sur une journée utilisé dans notre étude	79
IV.2	La vitesse du vent et l'insolation solaire en 2007 à Bejaia.	80
IV.3	Evaluation de la vitesse du vent moyenne mensuelle à Bejaia (1998/2007).	80
IV.4	Insolation moyenne mensuelle pour la période 1998/2007 heures.	81
IV.5	L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface horizontale estimée pour la période 1998/2007.	83
IV.6	L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée estimée à Bejaia pour la période 1998/2007.	85
IV.7	Irradiation globale moyenne mensuelle journalière du site de Bejaia.	85
IV.8	Variation d'éclairement, vitesse du vent et l'énergie de la charge sur une journée.	91
IV.9	La tension de la batterie de stockage.	92
IV.10	Les puissances délivrées par les différentes sources.	92
IV.11	Variation d'éclairement, vitesse du vent et la puissance de la charge sur 02 journées.	93
IV.12	La tension de la batterie de stockage.	93
IV.13	Les puissances délivrées par les différentes sources.	94




*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Liste des Tableaux

Tableaux	Titres	Pages
I.1	Classification des systèmes hybrides par gamme de puissance.	07
II.1	Paramètres d'un panneau solaire SUNTECH existant au laboratoire.	29
IV.1	Demande journalière d'énergie pour un foyer isolé à Bejaia.	77
IV.2	Les valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface horizontale à Bejaia (1998-2007).	82
IV.3	La production énergétique mensuelle des composants du système hybride étudié.	88
IV.4	Dimensionnement selon la moyenne mensuelle annuelle.	89



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Nomenclature

e.

- GD : Générateur diesel.
- CC : Courant continu.
- CA : Courant alternatif.
- MPPT : Recherche point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking).
- MLI : Modulation de la largeur d'impulsion.
- MSAP : Machine synchrone à aimant permanent.
- GSAP : Génératrice synchrone à aimant permanent.
- C_p : est le coefficient aérodynamique de puissance de la turbine
- ρ : est la masse volumique de l'air.
- S : la surface balayée par la turbine.
- V_p : la vitesse du vent.
- λ : est le rapport entre la vitesse périphérique en bout de pales et la vitesse du vent.
- Ω : est la vitesse angulaire de rotation de la turbine.
- P : la puissance (W).
- ω : la vitesse angulaire (rad/sec).
- C : le couple moteur (N.m).
- F_t : L'effort tangentiel (newton).
- D : le diamètre (mètre)
- G_i : Source de courant parfaite.
- R_{sh} : Résistance shunte qui prend en compte les fuites inévitables de courant qui intervient entre les bornes opposées positive et négative d'une cellule.
- R_{se} : Résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours (résistance de contacte).
- D : Diode matérialisent le fait que le courant ne circule que dans un seul sens.

le point de fonctionnement sur la cellule en fonction

de sa caractéristique courant-tension à l'éclairement considéré.

- V_T : La tension thermique.
- T_C : La température absolue.
- m : Facteur d'idéalité, il est égal à 1.
- K : Constante de Boltzmann ($K=1.38 \cdot 10^{-23}$ J/k).
- e : Charge de l'électron ($e=1.6 \cdot 10^{-19}$).
- G : L'irradiation qui représente la puissance lumineuse reçue par unité de surface (W/m^2).
- A : La surface effective des cellules.
- I_{ph} : Représente le photo-courant, il dépend de l'irradiation et de la température.
- I_d : Courant de polarisation de la jonction PN.
- I_{Rsh} : Courant traversant la résistance shunte.
- I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale appelé aussi courant optimum (I_{opt}).
- V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale appelé aussi tension optimale (V_{opt}).
- I_{sc} : Courant en court-circuit.
- V_{oc} : Tension en circuit ouvert
- G_{stc} et G : Représente respectivement, le niveau d'insolation dans les conditions standards de fonctionnement et dans des conditions quelconque
- ΔG : Représente la variation de l'insolation.
- T_{stc} et T_C : Représente respectivement, la température dans les conditions standard de fonctionnement et dans des conditions quelconques.
- ΔT_C : Représente la variation de la température.

ation du courant par rapport à l'insolation et à la

température.

- ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'insolation et à la température.
- α_{sc} : Représente un coefficient d'incrémentement du courant I_{sc} quand la température de surface augmente de un degré Celsius ($A/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement).
- β_{oc} : Représente un coefficient d'incrémentement de la tension V_{oc} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($V/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement).
- J_m : inertie de la machine
- f_m : coefficient de frottement de la machine
- J_t : inertie de la turbine ;
- f_t : frottement des pâles ;
- C_{st} : le couple statique fournie par l'éolienne.
- V_a, V_b, V_c : Tensions de phases statoriques.
- I_a, I_b, I_c : Courants de phases statoriques.
- R : Résistances de chaque phase.
- L : Inductance propre de chaque phase.
- Φ_{abc} : Flux statoriques.
- M : Inductance mutuelle entre deux phases du stator.
- $\Phi_f(abc)$: Flux magnétiques produits par les aimants permanents rotoriques à travers les enroulements du stator.
- Φ_f : Amplitude du flux des aimants permanents.
- θ : Angle électrique du rotor par rapport au stator de la génératrice.
- V_{dc} : est la tension redressée.
- I_{dc} : Le courant modulé par le redresseur.

iques correspondant à l'état de l'interrupteur (égal à 1
soit est ouvert).

- E_0 : est la tension à vide de la batterie chargée.
- K : est une constante qui dépend de la batterie.
- R_b : est la résistance interne de la batterie.
- I_b : est le courant de décharge.
- Q_0 : est la capacité de la batterie en (Ah).
- (T_{pv}) : Le signal de commande du relais de générateur PV.
- (T_{sol}) : Le signal de commande du relais de générateur éolien .
- (T_{groupe}) : Le signal de commande du relais de groupe électrogène.
- H : est le flux d'irradiation solaire reçu quotidiennement au niveau de la surface terrestre sur un plan horizontal.
- σ : Le taux d'insolation.
- SS_0 : La durée maximale d'ensoleillement (du lever au coucher de soleil).
- SS : est la valeur journalière de l'insolation (durée effective d'ensoleillement).
- H_0 : est la valeur correspondante du flux global d'irradiation solaire obtenue hors atmosphère.
- G_{sc} : La constante solaire, ($G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$).
- n : Le numéro de jour de l'année ($n=1$ pour le premier janvier, í etc.)
- ψ : L'latitude du lieu (pour Bejaia $\psi = 36.73^\circ$).
- δ : La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire)
- ω_s : L'angle horaire.
- ρ : L'albédo au sol.
- β : L'angle d'inclinaison.
- A_c : représente la surface totale du générateur photovoltaïque (m^2);
- η_{gem} : Le rendement du générateur photovoltaïque ;

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

incliné (kWh/m^2).

- η_j : Autonomie des batteries à utiliser.
- PDD : Profondeur de décharge des batteries.
- R_c : Rendement des batteries.
- U_B : Tension nominale de la batterie.
- E (Wh/j) : Energie électrique appelée par la charge.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

INTRODUCTION GENERALE

Le soleil, le vent, les chutes d'eau et la biomasse sont autant de ressources naturelles utilisables pour générer de l'énergie électrique, grâce aux différentes technologies que l'on peut regrouper par filières économiques en fonction de la ressource considérée. Disponibles en quantité supérieure aux besoins énergétiques actuels de l'humanité, les ressources d'énergie renouvelable n'augmentent pas la quantité de gaz à effet de serre de l'atmosphère lors de leur exploitation. Elles représentent par ailleurs une chance pour plus de deux milliards de personnes, habitant des régions isolées, d'accéder à l'électricité. Ces atouts, alliés à des filières de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables.

Parmi les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables, il y a les Systèmes d'Énergie Hybrides (SEH). Pour les régions isolées ou éloignées, le prix d'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement. Le terme « Système d'Énergie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. Dans cette notion, on exclut les grands réseaux interconnectés dans lesquels les sources peuvent aussi être de plusieurs types. La combinaison des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesels utilisés généralement pour la génération d'électricité dans les régions isolées. Les SEH sont généralement conçus pour répondre à un besoin énergétique allant du simple éclairage jusqu'à l'électrification complète de villages ou de petites îles.

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif. Cependant, ces solutions exigent au préalable dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer. Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur

on et de contrôle rendu possible grâce à des logiciels

Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution pour une meilleure intégration des sources d'énergie renouvelable dans un SEH. Notre travail est partagé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre nous donnons une description du système d'énergie hybride composé d'un générateur photovoltaïque, une éolienne, un groupe électrogène et des batteries de stockage.
- Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation du système d'énergie hybride étudié.
- Le troisième chapitre, est consacré à la commande des sous système qui compose le SEH étudié et la commande du système complet.
- Dans le quatrième chapitre, nous présentons le dimensionnement et la simulation numérique du SEH pour l'alimentation d'un foyer isolé.
- En conclusion générale, nous faisons une synthèse du travail présenté.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CHAPITRE I

***Description Du Système D'énergie Hybride
(Photovoltaïque- Eolienne- Groupe diesel)***

Introduction :

Les systèmes d'énergie hybrides (SEH) associent au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelable [1]. Les sources d'énergie renouvelable, comme l'éolienne et le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.

Le but d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable, tout en maintenant la qualité de l'énergie fournie [1]. De plus, l'économie de carburant et la baisse de prix obtenues par la génération hybride doivent au moins couvrir l'investissement fait pour les générateurs d'énergie renouvelable et les autres composants auxiliaires du système.

I.1 Différentes architectures des systèmes hybrides :

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels (GD) et d'au moins une source d'énergie renouvelable, un SEH peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif (CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un système de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures. Celles-ci sont résumées dans la Figure I-1. Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus [2] : un bus à CC pour les sources, les charges à CC et les batteries et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution. Les sources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à CA ou à CC en fonction de la dimension et la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'intermédiaire de l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels. A part la charge principale, un système hybride peut contenir aussi des charges auxiliaires (charge différée, charge optionnelle, charge de délestage) pour réaliser l'équilibre énergétique. Si la charge

principale est alimentée sans interruption, les charges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existe un surplus d'énergie. Ainsi, dans un SEH avec des batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelable et des diesels), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle : charge et source.

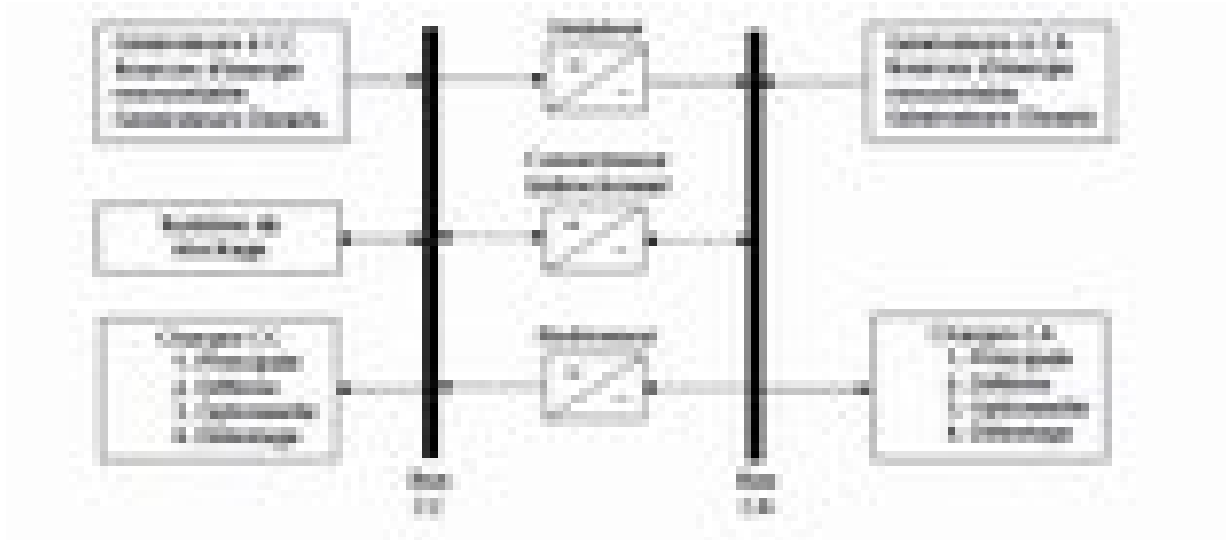


Figure I.1 : Architecture des systèmes hybrides.

I.1.1 Architecture à bus à CC [3]:

Dans le système hybride présenté dans la Figure I-2, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à CA fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Le ou les générateur(s) diesel(s) sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à CA. Les générateurs diesels ne peuvent donc pas alimenter les charges à CA directement. L'onduleur doit alimenter les charges à CA à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence [4]. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter des pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps. La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur

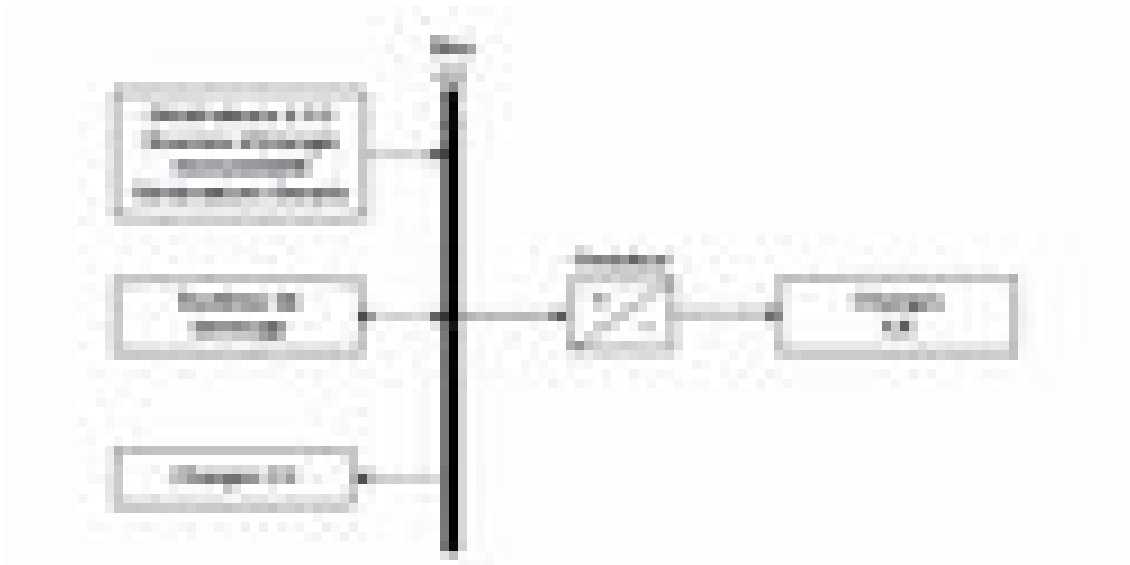
de charge dans les sources d'énergie renouvelable. Les avantages et les désavantages d'un tel système sont présentés ci-après.

Avantages [4]:

- É La connexion de toutes les sources sur un bus à CC simplifie le système de commande.
- É Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusqu'à un état de charge de 75-85 %.

Désavantages [4] :

- É Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.
- É Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge.



Figur

e I.2 : Configuration du SEH à bus cc.

I.1.2 Architecture mixte à bus à CC/CA [4] :

La configuration à deux bus, à CC et à CA, est présentée dans la Figure I-3. Celle-ci a des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure. Dans cette configuration, les

sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels peuvent alimenter une partie de la charge à CA directement, ce qui permet d'augmenter le rendement du système et de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur. Le ou les générateur(s) diesel(s) et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle en synchronisant leurs tensions en sortie. Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui, en fonctionnement normal, réalise la conversion CC/CA (fonctionnement onduleur) [3] [4]. Quand il y a un surplus d'énergie de la part du générateur diesel, il peut aussi charger les batteries (fonctionner en redresseur). L'onduleur bidirectionnel peut alimenter les pics de charge quand le générateur diesel est surchargé.

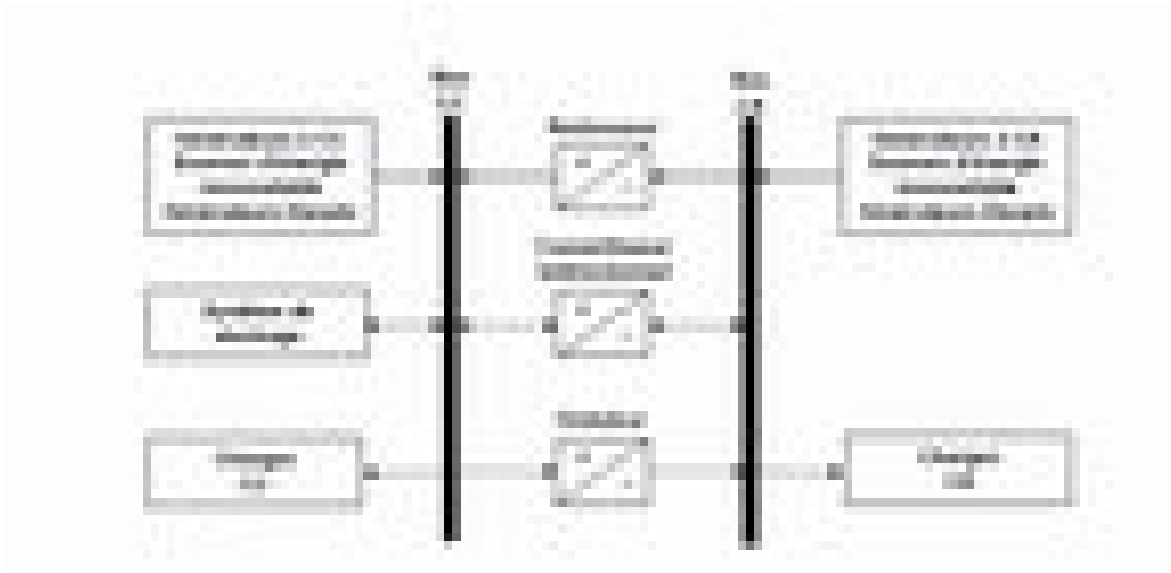


Figure I.3 : Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA.

Avantages [4] :

Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Cependant, les deux sources peuvent fonctionner en parallèle pendant les pics de charge.

La possibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système d'alimenter les pics de charge.

Désavantage [4] :

La réalisation de ce système est relativement compliquée à cause du fonctionnement parallèle (l'onduleur doit être capable de fonctionner en autonome et non-autonome en synchronisant les tensions en sortie avec les tensions en sortie du GD).

I.2 Classifications des systèmes d'énergies hybrides :

La puissance délivrée par les SEH peut varier de quelques watts pour des applications domestiques jusqu'à quelques mégawatts pour les systèmes utilisés dans l'électrification de petites îles [1]. Ainsi, pour les systèmes hybrides ayant une puissance en-dessous de 100 kW, la connexion mixte, bus à CA et bus à CC, avec des batteries de stockage, est très répandue [3] [4]. Le système de stockage utilise un nombre élevé de batteries pour être capable de couvrir la charge moyenne pendant plusieurs jours. Ce type de SEH utilise des petites sources d'énergie renouvelable connectées au bus à CC. Quand il existe une production en CA, elle vient, en principe, des générateurs diesels. Une autre possibilité est de convertir la puissance continue en puissance alternative à l'aide des onduleurs. Les systèmes hybrides utilisés pour des applications de très faible puissance (en-dessous de 5 kW) alimentent généralement des charges à CC [5].

Les systèmes plus grands, ayant une puissance supérieure à 100 kW, sont centrés sur le bus à CA, avec des sources d'énergie renouvelable conçues pour être connectées aux grands réseaux interconnectés [3]. Si ces systèmes contiennent des sous-systèmes de stockage, ce qui est rare, c'est pour lisser les variations de l'énergie de nature renouvelable. Le champ d'application des SEH est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance (Tableau I-1). Les seuils de puissance donnés ne sont que des ordres de grandeurs.

Puissance du SEH [kW]	Applications
Faible : < 5	Système autonome : stations de télécommunication, de pompage de l'eau, autres applications isolées.
Moyenne : 10-250	Micro réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, d'un hameau, des zones rurales
Grande : > 500	Grands réseaux isolés (ex : réseaux insulaires)

Tableau I.1 : classification des systèmes hybrides par gamme de puissance [3].

On peut aussi classer les systèmes d'énergie hybride selon leur fonctionnement, Il existe deux types de système de production hybride, système alterné et système parallèle.

Le système alterné consiste en association d'un système éolienne, un système photovoltaïque et un groupe électrogène relié par un système de commutation entre les trois permettant d'assurer le passage d'un fonctionnement d'une source à une autre (selon les conditions météorologique jour et nuit), par contre le système parallèle relie les deux sources (éolienne, photovoltaïque) en même temps à la batterie et le groupe électrogène intervient en secours (quand les batteries sont déchargées). Le système choisi dans notre étude est conçu de telle sorte à obtenir un fonctionnement parallèle des deux sources (éolienne, photovoltaïque) avec un groupe électrogène de secours, conçu pour l'alimentation d'un site isolé [1].

I.3 Système hybride étudié :

Le système d'énergie hybride étudié dans notre travail est composé :

- D'un générateur photovoltaïque,
- Un générateur éolien,
- Dispositif de stockage (batteries)
- Un groupe électrogène d'appoint ;

Et sa configuration on choisi la configuration à bus CC.

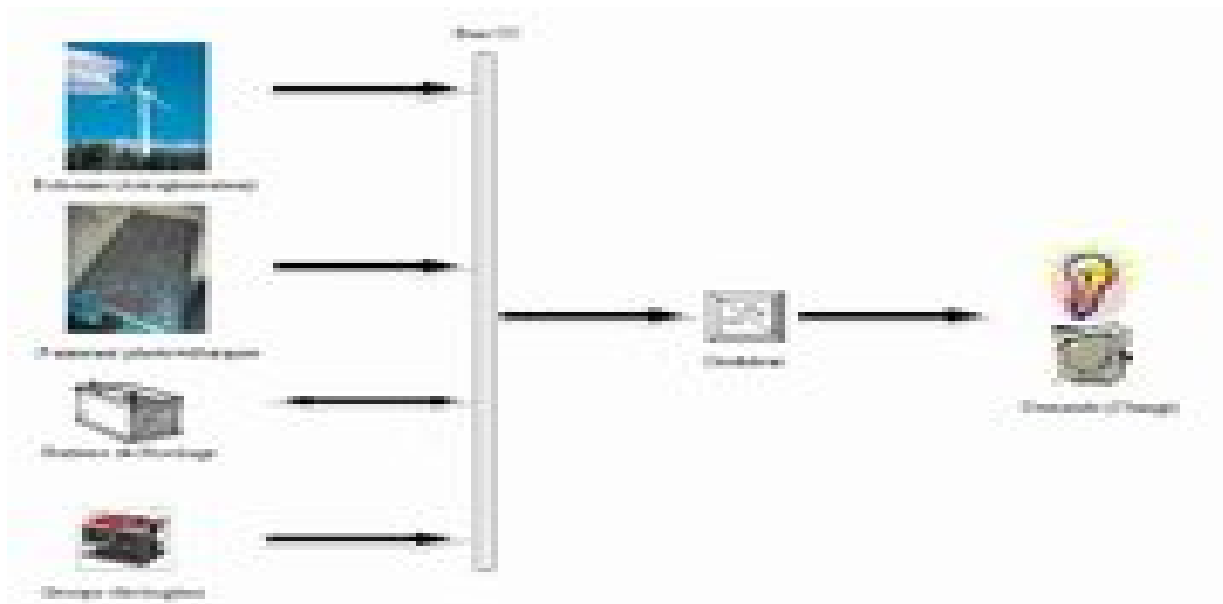


Figure I.4: Le système d'énergie hybride étudié.

I.4 Description de la chaîne de conversion éolienne :

L'énergie d'origine éolienne fait partie des énergies renouvelables. L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : celle-ci est alors convertie en énergie mécanique elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne. Ce couplage mécanique peut être soit direct si la turbine et la génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur, soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire. Enfin, il existe plusieurs types d'utilisation de l'énergie électrique produite : soit elle est stockée dans des accumulateurs, soit elle est distribuée par le biais d'un réseau électrique, soit elle alimente des charges isolées. Le système de conversion éolien produit également des pertes. Ainsi, on peut indiquer un rendement de 59 % au rotor de l'éolienne, 96% au multiplicateur. Il faut en plus prendre en compte les pertes de la génératrice et des éventuels systèmes de conversion.

I.4.1 Puissance récupérable par une éolienne :

La puissance mécanique récupérée par une turbine éolienne peut s'écrire sous la forme suivante [6] :

$$P_{\text{éol}} = \frac{1}{2} * C_p(\lambda) * \rho * S * V_v^3 \quad (\text{I.1})$$

Ou :

- C_p : est le coefficient aérodynamique de puissance de la turbine ($C_p(\lambda)$ c'est la caractéristique propre de la turbine).
- ρ : est la masse volumique de l'air.
- S : la surface balayée par la turbine.

- V_v : la vitesse du vent.

La valeur du coefficient de puissance C_p dépend de la vitesse de rotation de la turbine et de la vitesse du vent. Elle peut avantageusement s'exprimer en fonction de λ .

$$\lambda = \frac{R * \Omega}{V_v} \tag{1.2}$$

- λ : est le rapport entre la vitesse périphérique en bout de pales et la vitesse du vent [6].
- Ω : est la vitesse angulaire de rotation de la turbine.

La figure (I.5) montre l'évolution du coefficient de puissance C_p pour des turbines réelles à axe horizontal avec 1, 2, 3 et 4 pales [7]. On remarque que chaque type d'éoliennes correspond à une vitesse normalisée, λ_{opt} , qui maximise le rendement aérodynamique. Ainsi un fonctionnement à vitesse de rotation variable, selon la vitesse du vent, peut permettre de rester sur le maximum de la courbe. Plus la caractéristique $C_p ()$ sera en cloche, plus il sera bénéfique d'adapter la vitesse de rotation à la vitesse du vent, afin de rester dans la zone optimale.

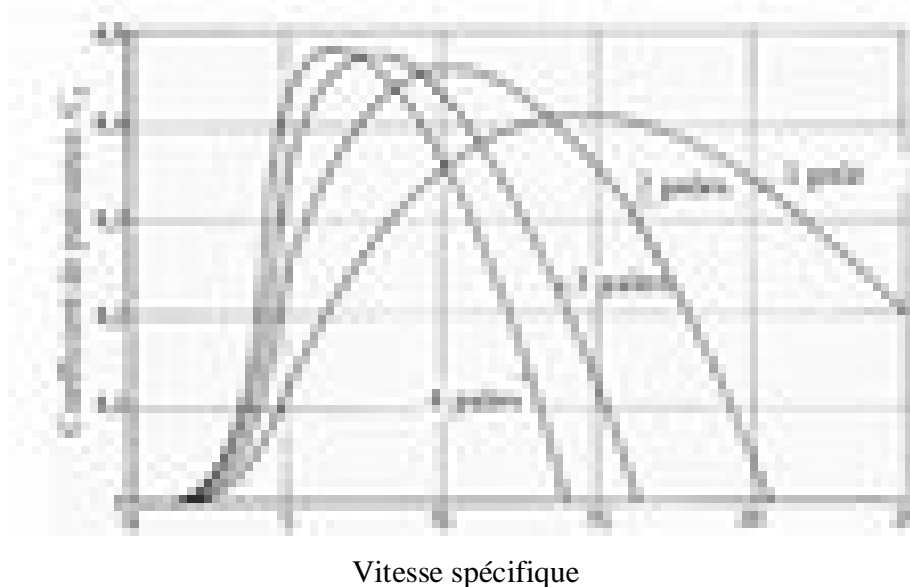


Figure I.5 : Coefficient aérodynamique de puissance en fonction de la vitesse de rotation normalisée [7].

I.4.2 Les différents types de turbines :

Il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice [7] :

- Les turbines éoliennes à axe horizontal.
- Les turbines éoliennes à axe vertical.

I.4.3 Type d'installation :

Une éolienne occupe une faible surface au sol. Ceci est un énorme avantage pour son installation qui perturbe peu les sites et permet de conserver des activités industrielles ou agricoles à proximité.

On retrouve l'éolienne dite individuelle installée en site isolé elle n'est pas raccordée au réseau, et à d'autres éoliennes.

Sinon les éoliennes sont regroupées sous forme de fermes éoliennes. Les installations peuvent être réalisées sur terre ou de plus en plus en mer avec les fermes éoliennes offshore où la présence du vent est plus régulière.

I.4.4 Composants classiques d'une éolienne

Les principaux composants d'un système de conversion d'énergie éolienne sont [8] :

- une turbine éolienne, avec ses annexes mécaniques (régulation, sécurité, réduction), qui est lorsqu'elle est exposée au vent de vitesse V_v , tourne à la vitesse Ω et fournit sur son arbre un couple de moment C_{rot} ;
- un générateur électrique, qui transforme l'énergie éolienne en énergie électrique ;
- une charge qui reçoit cette énergie électrique, celle-ci peut être une résistance, un moteur, une pompe, un réseau de distribution d'énergie électrique ;
- dispositif d'interconnexion, il s'agit d'un convertisseur qui est en générale placé entre le générateur électrique et la charge, qui adapte la forme de l'énergie électrique fournie par le générateur à ce qu'exige la charge;

- un système de commande et de régulation qui assure la conversion optimale en régime stationnaire et éventuellement en régime dynamique.

La plus simple structure de conversion d'énergie éolienne est représentée dans la figure (I.6) :

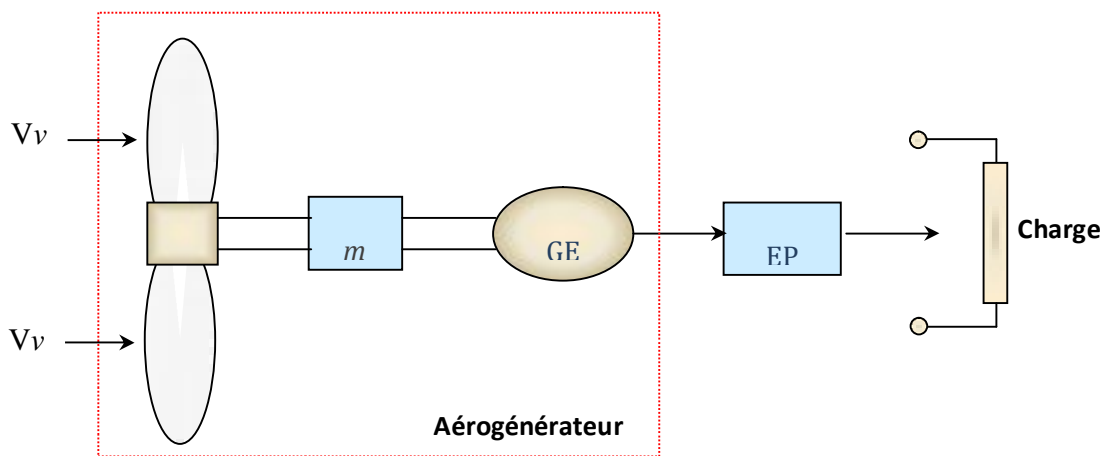


Figure I-6 : structure de la chaîne de conversion éolienne.

Ou :

- T : Turbine ;
- M : Multiplicateur de vitesse ;
- G : Générateur électrique ;
- EP : Circuit d'électronique de puissance ;

I.5 Description de la chaîne de Conversion d'énergie photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque se manifeste par l'apparition d'une différence de potentiel à la jonction entre un métal et un semi-conducteur ou entre deux semi-conducteurs lorsque le dispositif reçoit un rayonnement lumineux de longueur d'onde adéquate. Ainsi une cellule photovoltaïque peut convertir l'énergie solaire en énergie électrique en mettant en jeu ce

phénomène physique optoélectronique. Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12 % avec du silicium polycristallin et enfin 7 à 8% pour le silicium amorphe en films minces [9].

I.5.1 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque dépend des conditions d'ensoleillement et de la température. Les courbes caractéristiques d'une cellule photovoltaïque représentent la variation du courant qu'elle produise en fonction de la tension à ces bornes, depuis le court-circuit jusqu'au circuit ouvert.

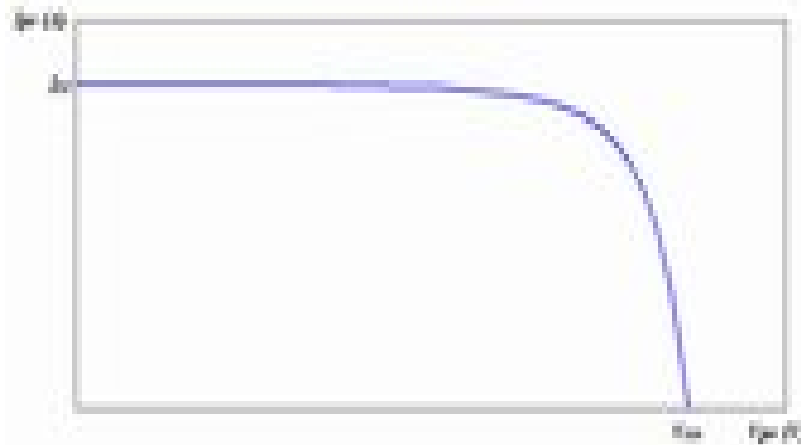


Figure I.7 : Caractéristique d'une cellule photovoltaïque.

I.5.2 Association en série et en parallèle des cellules photovoltaïque :

Typiquement une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watts sous approximativement 0,5 Volt. Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque [7].

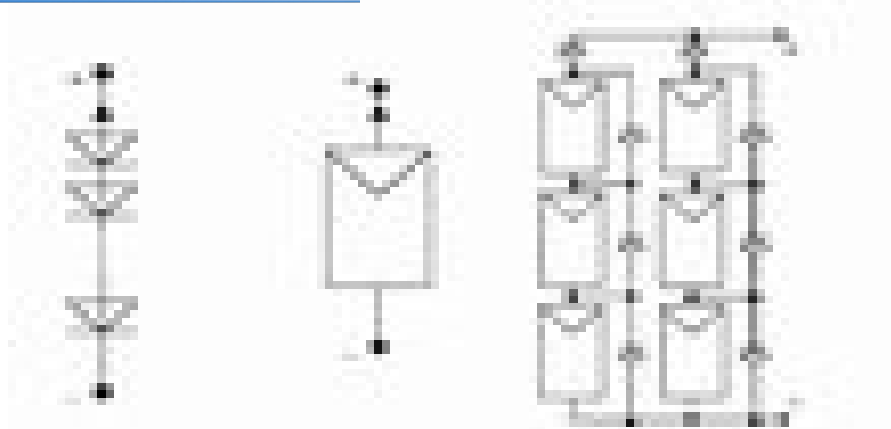


Figure I.8 : Cellules, module et panneau photovoltaïques.

Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, une en série pour éviter les courants inverses et une en parallèle, dite diode by-pass, qui n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de production associée.

I.5.3 Puissance d'une cellule photovoltaïque :

Évidemment la courbe caractéristique d'une cellule photovoltaïque dépend fortement de l'éclairement auquel est soumis le générateur et de sa température. On peut voir sur la figure ci-dessous l'allure générale des caractéristiques de la puissance en fonction de la tension pour différents éclaircissements (à gauche) et pour différentes températures (à droite).

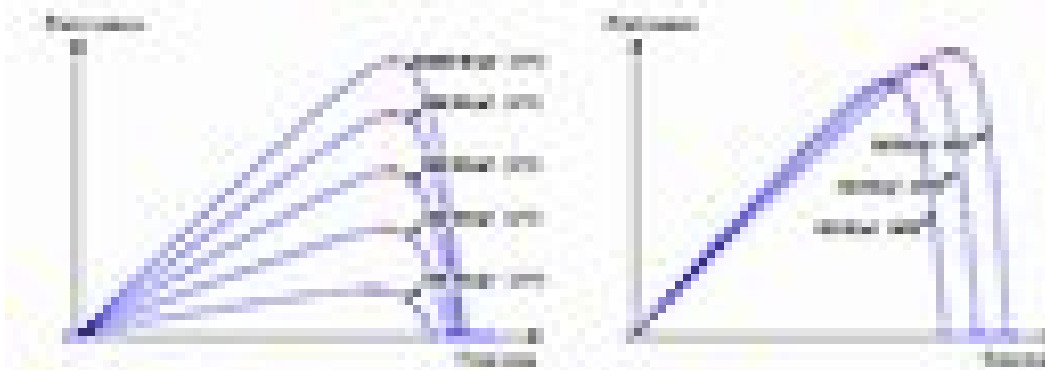


Figure I.9 : Influence de l'éclairement et de la température sur la caractéristiques puissance/tension d'un générateur photovoltaïque

On voit bien que pour un éclairement et une température donnée, il existe une valeur de la tension qui maximise la puissance produite par le générateur.

Il peut donc être intéressant d'insérer un convertisseur de puissance entre le générateur photovoltaïque et sa charge pour assurer un fonctionnement à puissance maximale quelles que soient la charge et les conditions d'éclairement et de température, grâce à un convertisseur de caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ [9]. Ce convertisseur est un dispositif d'asservissement de la puissance couramment appelé à pilotage MPPT (Maximum Power Point Tracker).

I.5.4 Fonctionnement et constituant d'un système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est un dispositif utilisé pour fournir de l'énergie électrique alternative à partir d'irradiations solaires afin d'être utilisée par l'homme. Le système est constitué généralement des éléments suivants [10] :

- Le champ photovoltaïque, composé d'un ensemble de module orientés et interconnectés en série et en parallèle, qui recueillent les radiations lumineuses du soleil et les transforment en courant continu à basse tension.
- Un accumulateur, qui stock l'énergie produite par le générateur et permet de disposer de courant électrique la nuit ou les jours nuageux.
- Un régulateur de charge, c'est un dispositif électronique qui surveille l'état de charge des accumulateurs, il les protège contre éventuelles surcharges et contre les décharges profondes.
- Un convertisseur à pilotage MPPT, c'est un dispositif électronique qui assure que le système travaille toujours à puissance maximale.
- Un onduleur, est un dispositif électronique qui assure la conversion de la tension continue d'entrée en tension alternative de sortie.
- Charge : l'utilisation.

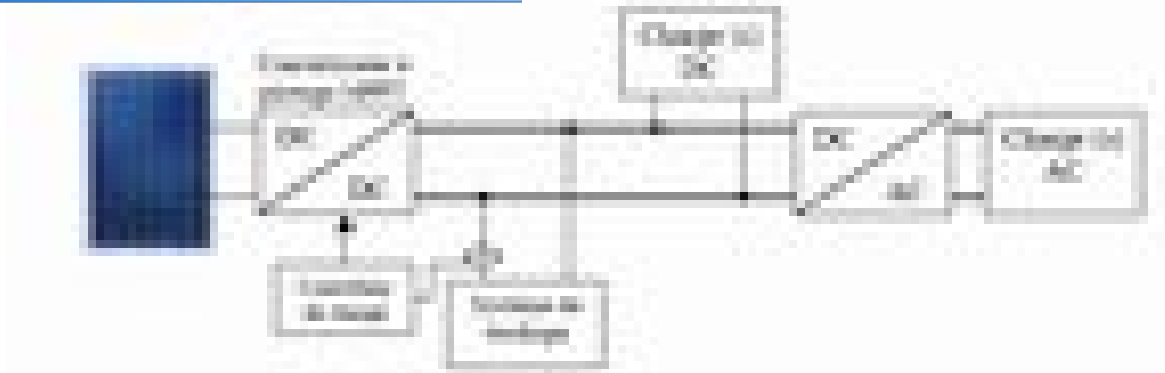


Figure I.10 : Chaîne de conversion photovoltaïque autonome.

L'énergie solaire photovoltaïque est très utilisée pour ses nombreux avantages, sa facilité de mise en œuvre et sa fiabilité, surtout dans des applications situées dans les régions isolées loin de tous réseaux électriques.

La production de l'énergie solaire photovoltaïque la nuit ou les jours nuageux dépend de la capacité de stockage des accumulateurs qui est limitée afin de trouver des solutions à ce problème on associe au système photovoltaïque d'autres sources de production d'énergies telles que l'éolienne et un groupe électrogène.

I.6 Générateur diesel :

Dans le cas d'un système d'énergie renouvelable, la production d'énergie électrique est réalisée en fonction des ressources (vent, soleil) et non de la demande d'énergie. Dans le cas des installations autonomes, il est donc nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels.

Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (Figure I-11). La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel [11]. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.



Figure I.11: Configuration du générateur diesel.

L'utilisation des moteurs diesel comme moteur d'entraînement dans les groupes électrogènes de petite puissance est due aux avantages qui présentent, qu'on peut citer [11] :

- leur rendement élevé comparativement à celui d'une centrale à gaz ou à vapeur ;
- leur fiabilité et la simplicité de leur fonctionnement.

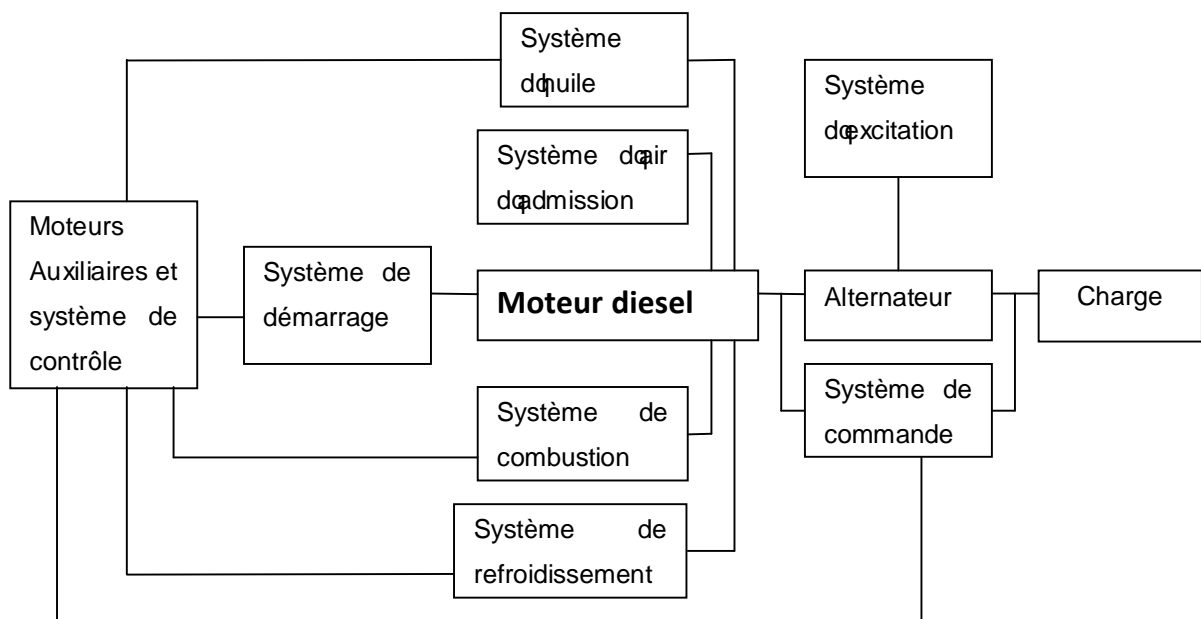


Figure I.12 : schéma synoptique du groupe électrogène [12].

I.7.1 Caractéristiques du système diesel :

a- Le moteur diesel :

La puissance délivrée par le moteur est fonction du couple, ce dernier est un système de deux forces parallèles et de sens contraire. Il est caractérisé par la grandeur des forces et la distance entre les points d'application de ces forces, il est donné par la formule suivante :

$$C = F_t \cdot D \quad (I.3)$$

Avec :

F_t : L'effort tangentiel (newton).

D : le diamètre (mètre)

La puissance est donnée par la formule suivante :

$$P = C \cdot \omega \quad (I.4)$$

Avec :

- P : la puissance (W).
- ω : la vitesse angulaire (rad/sec).
- C : le couple moteur (N.m).

Si on appelle N le nombre de tours par minute, la vitesse angulaire sera :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad (I.5)$$

Donc la puissance en watt est exprimée par la relation suivante :

$$P(\omega) = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \cdot F_t \cdot D \quad (I.6)$$

b- L'alternateur :

L'alternateur est un dispositif qui transforme la puissance mécanique fournie par le moteur diesel en puissance électrique. Il est constitué d'un stator (l'induit) et d'un rotor (l'inducteur). Le

stator est le siège des courants induit par la variation du flux du rotor, tandis que le rotor crée un champ radial tournant à la vitesse d'entraînement de l'alternateur, appelée vitesse de synchronisme.

I.7 Systèmes de stockage

Le stockage d'énergie est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides à fin de pouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours). Il est parfois aussi utilisé avec les SEH connectés à des grands réseaux de courant alternatif isolés. Dans ce cas, il est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à court terme [13].

Le stockage d'énergie est généralement réalisé grâce aux batteries. Les batteries sont, d'habitude, du type plomb à acide. Les batteries nickel à cadmium sont rarement utilisées. Il y a d'autres formes de stockage, mais peu utilisées, comme le pompage de l'eau et les volants d'inertie. Dans le cas de stockage par pompage de l'eau, l'énergie produite sert à remplir un réservoir de stockage dont l'eau sera turbinée pour restituer l'énergie [13]. Le principe du volant d'inertie est simple. Il s'agit de stocker l'énergie en mettant en rotation une masse importante [14]. L'énergie cinétique obtenue peut être restituée à la demande sous forme d'énergie électrique, en utilisant une machine électrique en régime générateur.

I.8 Convertisseurs

Dans un SEH, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le CC en CA et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les SEH : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativement simples,

pas chers et à bon rendement. Les onduleurs réalisent la conversion CC/CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles, mais sont aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sont réalisées par un seul appareil.

Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC, par exemple, pour adapter la tension entre deux sources.

I.9 Charges :

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et courant pendant les changements dans le fonctionnement du système.

I.10 Commande des SEH :

Le problème principal dans la commande de SEH est de pouvoir fournir l'énergie demandée par la charge, malgré les grandes variations de l'énergie produite, tout en maintenant la fréquence et la tension du bus à CA dans des limites acceptables. Les variations de la production sont causées par la nature stochastique des ressources renouvelables. Deux aspects principaux doivent être pris en compte dans la commande du SEH [3] :

1. La stratégie de fonctionnement, qui implique des décisions liées au flux d'énergie à l'échelle de plusieurs heures ou jours et des actions pour améliorer le fonctionnement du système,
2. La qualité de l'énergie, à l'échelle des secondes ou millisecondes. Cela concerne la stabilité de la fréquence et de la tension, les protections, etc.

I.11 Stratégie de fonctionnement

La stratégie de fonctionnement est un algorithme qui permet au système de supervision d'un SEH de décider combien et quels générateurs il faut mettre en marche, quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage, si disponible [4] [15]. Le fonctionnement d'un SEH dépend des paramètres suivants :

É Le profil de charge : les variations diurnes, les variations saisonnières, les pics et les creux, etc.

É Les caractéristiques des ressources renouvelables : les valeurs moyennes, l'écart type, la fréquence des événements, les valeurs extrêmes, les variations diurnes et saisonnières, etc.

É Les caractéristiques des générateurs classiques : le type de carburant, les limites de fonctionnement, etc.

É La configuration du système : le nombre et les types de composants (les sources d'énergie renouvelable, les sources classiques, les charges contrôlables, les types de stockage, les convertisseurs de puissance, etc.)

É Les normes de qualité de l'énergie : les exigences en ce qui concerne les variations de la fréquence et de la tension.

I.12 Contraintes de fonctionnement des SEH :

Du point de vue de la continuité de la production et de la qualité de l'énergie, les facteurs pouvant affecter le fonctionnement d'un SEH sont résumés ci-après [3]:

É Les variations de la charge à long terme : les régions isolées avec des petits réseaux électriques peuvent subir des changements rapides dans leurs besoins en électricité (généralement, la demande augmente).

É Les variations de la charge à court terme : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelques minutes. Des valeurs minimales sont suivies par des pics.

É Les ressources d'énergie renouvelable : les ressources, comme le vent et le soleil, sont stochastiques par leur nature, ont des caractéristiques locales et sont très difficiles à prédire.

É Les perturbations du réseau : les défauts, tels que les courts circuits, peuvent non seulement arrêter les systèmes, mais aussi, au pire des cas, détruire certains composants.

Conclusion :

Une brève description des systèmes d'énergie hybride a été réalisée dans ce chapitre. Dans ce contexte, les principales notions liées à la technologie utilisée dans les SEH ont été données. Notre travail portant sur un SEH composé d'une éolienne, des panneaux photovoltaïques et d'un générateur diesel et batteries de stockage, une attention particulière a été consacrée à ses sources. Les différents types d'architectures existants, ainsi que les problèmes habituels des SEH ont également été présentés.

Le dimensionnement et le fonctionnement des composantes du SEH doivent tenir compte des variations de la charge et des ressources renouvelables disponibles pour maximiser l'utilisation des ressources renouvelables. La modélisation du SEH fera l'objet du chapitre suivant.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CHAPITRE II

Modélisation Du Système D'énergie hybride

La modélisation d'un système physique donnée consiste à établir son modèle mathématique afin de le simuler sous un logiciel mathématique (dans notre cas Matlab _simulink) et mieux comprendre son fonctionnement et de faciliter son dimensionnement.

Les modélisations obtenues doivent être à la fois précises pour rendre compte des transferts énergétiques, et suffisamment rapides pour permettre des simulations sur de longues périodes dans le temps de calculs raisonnables.

L'objectif est de disposer de modèles suffisamment fiables afin d'effectuer une étude d'optimisation du dimensionnement et de la gestion d'énergie du système complet à étudier.

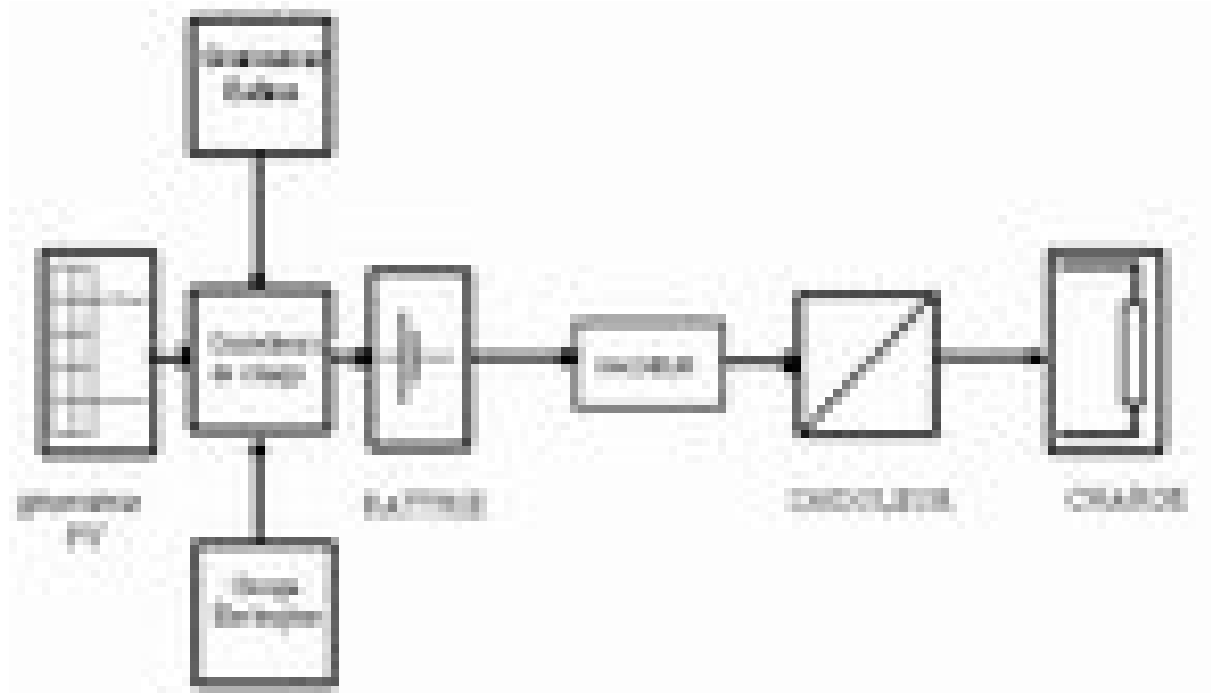


Figure II-1 : Schéma d'une installation type d'un système d'énergie hybride (PV-éolienne-groupe diesel).

II.1 Modélisation du générateur PV :

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque comprend un générateur de courant qui modélise l'éclairement et une diode en parallèle qui modélise la jonction PN. Mais le schéma équivalent réel tient compte de l'effet résistif parasite dû à la fabrication, il est présenté sur le schéma équivalent par deux résistances (figure II.2) [16].

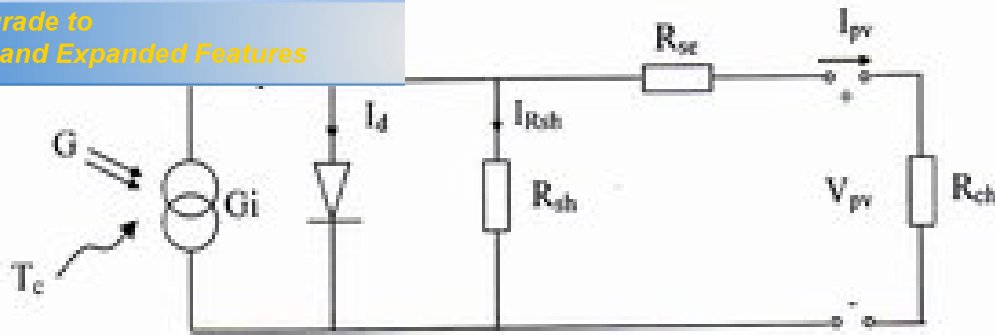


Figure II.2 : Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Avec :

- G_i : Source de courant parfaite.
- R_{sh} : Résistance shunte qui prend en compte les fuites inévitables de courant qui intervient entre les bornes opposées positive et négative d'une cellule.
- R_{ser} : Résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours (résistance de contacte).
- D : Diode matérialisent le fait que le courant ne circule que dans un seul sens.
- R_{ch} : Résistance qui impose le point de fonctionnement sur la cellule en fonction de sa caractéristique courant-tension à l'éclairement considéré.

Une cellule solaire est caractérisée par les paramètres fondamentaux suivant [17] :

- Courant de court circuit (I_{sc}) : c'est la plus grande valeur du courant générée par une cellule pour une tension nulle ($V_{pv} = 0$).
- Tension en circuit ouvert (V_{oc}) : Représente la tension aux bornes de la diode quand elle est traversée par le photo-courant I_{ph} ($I_d = I_{ph}$) quand ($I_{pv} = 0$). Elle reflète la tension de la cellule en absence de lumière, elle est exprimée mathématiquement par :
-

$$I_n \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (II-1)$$

Ou

$$V_t = \frac{m * K * T_c}{e} \quad (II-2)$$

Avec :

- V_t : La tension thermique.
 - T_c : La température absolue.
 - m : Facteur d'idéalité, il est égal à 1.
 - K : Constante de Boltzmann ($K=1.38 \cdot 10^{-23}$ J/k).
 - e : Charge de l'électron ($e=1.6 \cdot 10^{-19}$).
- Point de puissance maximale (P_{max}) : est le point M (V_{opt}, I_{opt}) de la figure (II.3) ou la puissance dissipée dans la charge est maximale.

$$P_{max} = V_{opt} * I_{opt} \quad (II-3).$$

- Le rendement maximum : est le rapport entre la puissance maximale et la puissance à l'entrée de la cellule solaire.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{opt} * I_{opt}}{A * G} \quad (II-4).$$

Ou :

- G : L'irradiation qui représente la puissance lumineuse reçue par unité de surface (W/m^2).
- A : La surface effective des cellules.

Le test des panneaux solaires sont caractérisées par un d'une température ambiante de 25°C et d'un spectre 1.5.AM représente l'Air Masse qui est l'épaisseur de l'atmosphère que la lumière doit pénétrer [18]. Ces conditions sont appelées STC (Standard Test Conditions) cela correspond à un ensoleillement assez fort [18].

La figure (II.3) présente la courbe courant-tension d'un module photovoltaïque avec les points importants qui la caractérise.



Figure II.3 : Caractéristiques électrique : courbe courant-tension d'un module photovoltaïque.

Trois types de modèles mathématiques de générateur photovoltaïque sont présentés dans la référence [19] : modèle une diode, modèle deux diodes et le modèle polynomial, dont le but est d'obtenir la caractéristique courant-tension pour l'analyse et l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques. Ces modèles diffèrent entre eux par le nombre de paramètres pris en compte. Nous avons choisi un modèle simplifié utilisé dans [20], c'est un modèle à cinq paramètres ($I_{sc}, V_{oc}, I_{mpp}, V_{mpp}, R_s$) qui tient compte de la variation du courant et de la tension du panneau photovoltaïque en fonction des conditions climatiques.

Le courant (I_{pv}) de la cellule photovoltaïque sous les conditions standard de fonctionnement est donné par l'équation (II.5) suivant la figure (II.2) :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{Rsh} \tag{II-5}$$

- I_{ph} : Représente le photo-courant, il dépend de l'irradiation et de la température.
- I_d : Courant de polarisation de la jonction PN.
- I_{Rsh} : Courant traversant la résistance shunte.

L'expression du courant de la cellule solaire est donné par :

$$I_{pv} = I_{sc} \{1 - K_1 [\exp (K_2 \cdot V_{mpv} - 1)]\} \quad (II-6)$$

Ou les coefficients K_1, K_2 et m sont donnés par [20] :

$$K_1 = 0.01175$$

$$K_2 = \frac{K_4}{V_{oc}^m} \quad (II-7)$$

$$K_3 = \ln \left[\frac{I_{sc} (1+K_1) - I_{mpp}}{K_1 \cdot I_{sc}} \right] \quad (II-8)$$

$$K_4 = \ln \left[\frac{1+K_1}{K_1} \right] \quad (II-9)$$

$$m = \frac{\ln \left[\frac{K_3}{K_4} \right]}{\ln \left[\frac{V_{mpp}}{V_{oc}} \right]} \quad (II-10)$$

Ou

- I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale appelé aussi courant optimum (I_{opt}).
- V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale appelé aussi tension optimale (V_{opt}).

- V_{OC} : Tension en circuit ouvert.

Il est à noter que l'équation (II.6) n'est applicable que pour un niveau d'insolation G et de température particuliers ($G=1000\text{W/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$), relatif aux conditions standards de fonctionnement. Quand l'insolation et la température varient, la tension et le courant du panneau photovoltaïque changent suivant les équations suivantes :

$$\Delta T_c = T_c - T_{stc} \quad (\text{II-11})$$

$$\Delta I_{PV} = \alpha_{sc} \left(\frac{G}{G_{stc}} \right) \Delta T_c + \left(\frac{G}{G_{stc}} - 1 \right) I_{sc, stc} \quad (\text{II-12})$$

$$\Delta V_{PV} = -\beta_{oc} \Delta T_c - R_{se} \Delta I_{pv} \quad (\text{II-13})$$

Avec :

- G_{stc} et G : Représente respectivement, le niveau d'insolation dans les conditions standards de fonctionnement et dans des conditions quelconque
- ΔG : Représente la variation de l'insolation.
- T_{stc} et T_c : Représente respectivement, la température dans les conditions standard de fonctionnement et dans des conditions quelconques.
- ΔT_c : Représente la variation de la température.
- ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'insolation et à la température.
- ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'insolation et à la température.
- α_{sc} : Représente un coefficient d'incrémententation du courant I_{sc} quand la température de surface augmente de un degré Celsius ($A/^\circ\text{C}$) (sous les conditions standard de fonctionnement).

coefficient d'incrémentation de la tension V_{oc} quand la

température de la surface augmente de un degré Celsius ($V/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement).

α_{sc} et β_{oc} : Sont appelés coefficients de température.

Les nouvelles valeurs de la tension et du courant photovoltaïque sont donné par :

$$V_{nouv,pv} = V_{stc} + \Delta V_{pv} \tag{II-14}$$

$$I_{nouv,pv} = I_{stc} + \Delta I_{pv} \tag{II-15}$$

Les constructeurs de panneaux photovoltaïques fournissent les paramètres du panneau ($I_{sc}, V_{oc}, I_{mpp}, V_{mpp}$) sous les conditions standard de fonctionnement (une insolation de $1000W/m^2$ et une température de $25^{\circ}C$, 1.5 AM). Le tableau (II.1) montre les paramètres du panneau solaire de marque SUNTECH, qu'on a utilisé dans notre étude.

Paramètres	valeurs
Puissance maximale du panneau P_{mpp}	80W
Courant au point de puissance maximale I_{mpp}	4.65A
Tension au point de puissance maximale V_{mpp}	17.2V
Courant de court-circuit I_{sc}	5A
Tension en circuit ouvert V_{oc}	21.6V
Coefficient d'incrémentation du courant I_{sc} (α_{sc})	0.01A/ $^{\circ}C$
Coefficient d'incrémentation de la tension V_{oc} (β_{oc})	-155mV/ $^{\circ}C$

Tableau (II.1) : Paramètres d'un panneau solaire SUNTECH existant au laboratoire.

Pour valider ce modèle nous l'avons simulé en effectuant un couplage direct du panneau photovoltaïque à une charge capacitive et nous avons déterminé les caractéristiques courant-tension et puissance-tension pour différents niveaux d'irradiations ($G=200$, $G=400$, $G=600$, $G=800$, $G=1000 \text{ W/m}^2$) à température constante et à différentes températures ($T_c= 0$, 25, 50, 75).

II.2.1 Caractéristiques des panneaux photovoltaïques :

Les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque varient en fonction de la température et de l'irradiation. Les figures (II.4 et II.5) montrent bien la variation du courant du panneau photovoltaïque ainsi que la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairement. On peut voir aussi sur le graphe, l'existence de maximum sur les courbes de puissance. Ces points correspondent aux points de puissances maximales (V_{opt} , I_{opt}) lorsque l'irradiation varie pour une température donnée. On peut considérer que le courant de court circuit I_{SC} varie proportionnellement à l'irradiation figure (II.6). De même, la tension de circuit ouvert V_{OC} (à vide) varie très peu. Par contre lorsque la température croît à l'irradiation constante figures (II.8-II.9), la tension V_{OC} décroît quand la température augmente et le courant I_{SC} croît légèrement [21]

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

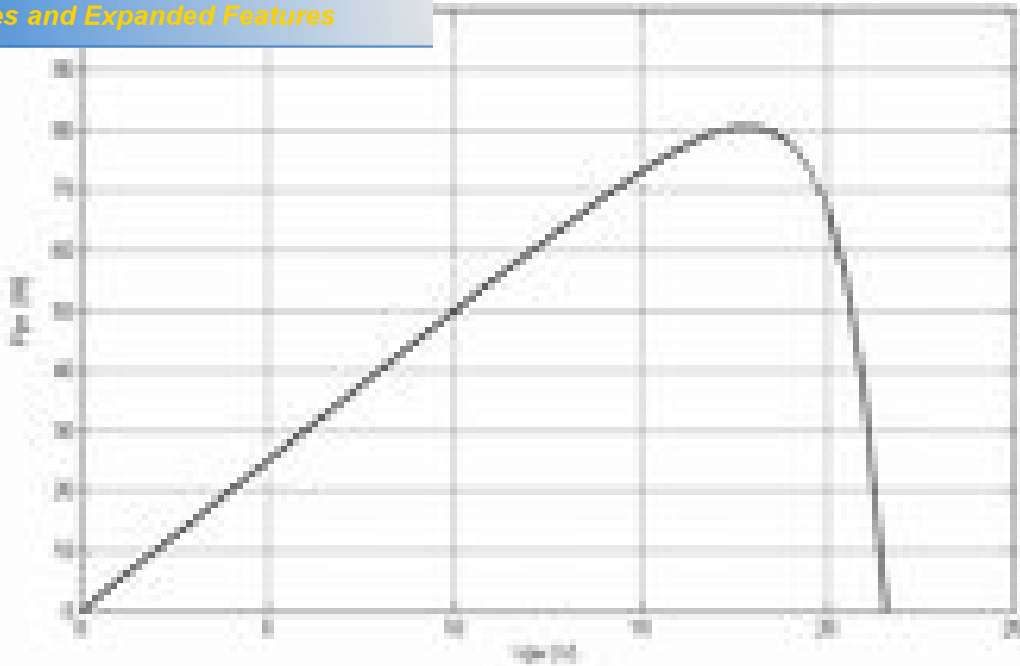


Figure II.4 : Caractéristique puissance-tension d'un module photovoltaïque pour $G= 1000 \text{ W/m}^2$ et $T_C=25^\circ\text{C}$

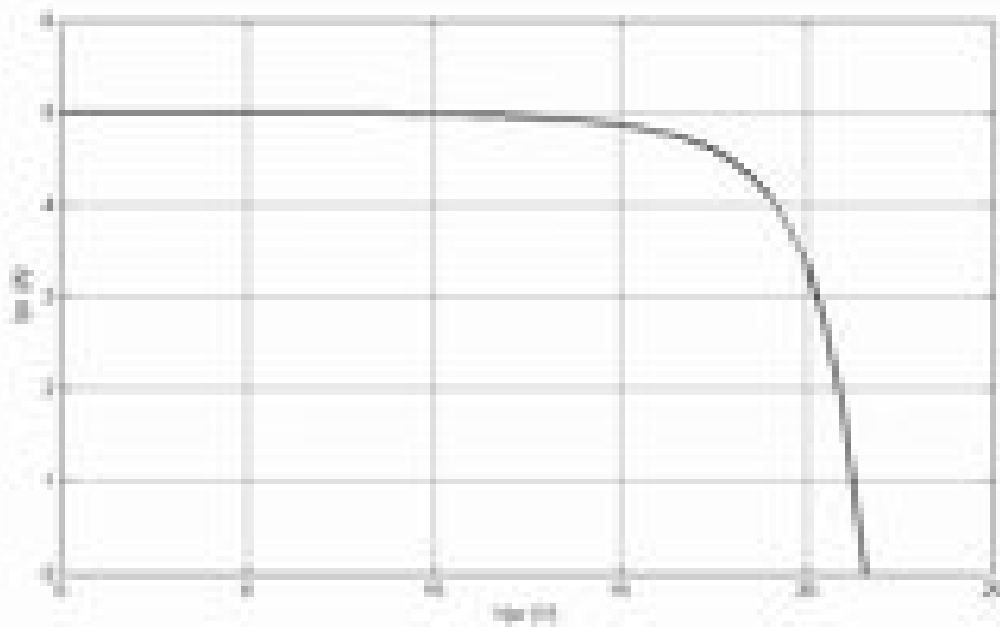


Figure II.5 : Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque pour $G= 1000 \text{ W/m}^2$ et $T_C=25^\circ\text{C}$.

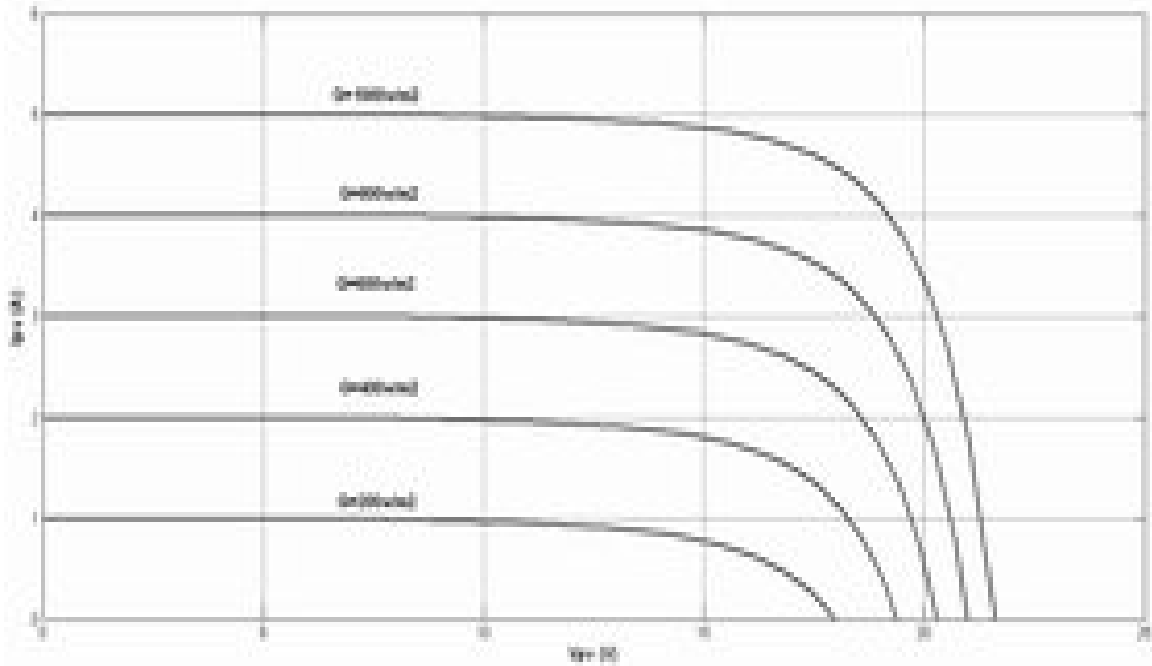


Figure II.6 : Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque pour différents niveaux d'irradiation ($G=200, 400, 600, 800, G= 1000 \text{ W/m}^2$) et $T_c=25^\circ\text{C}$.

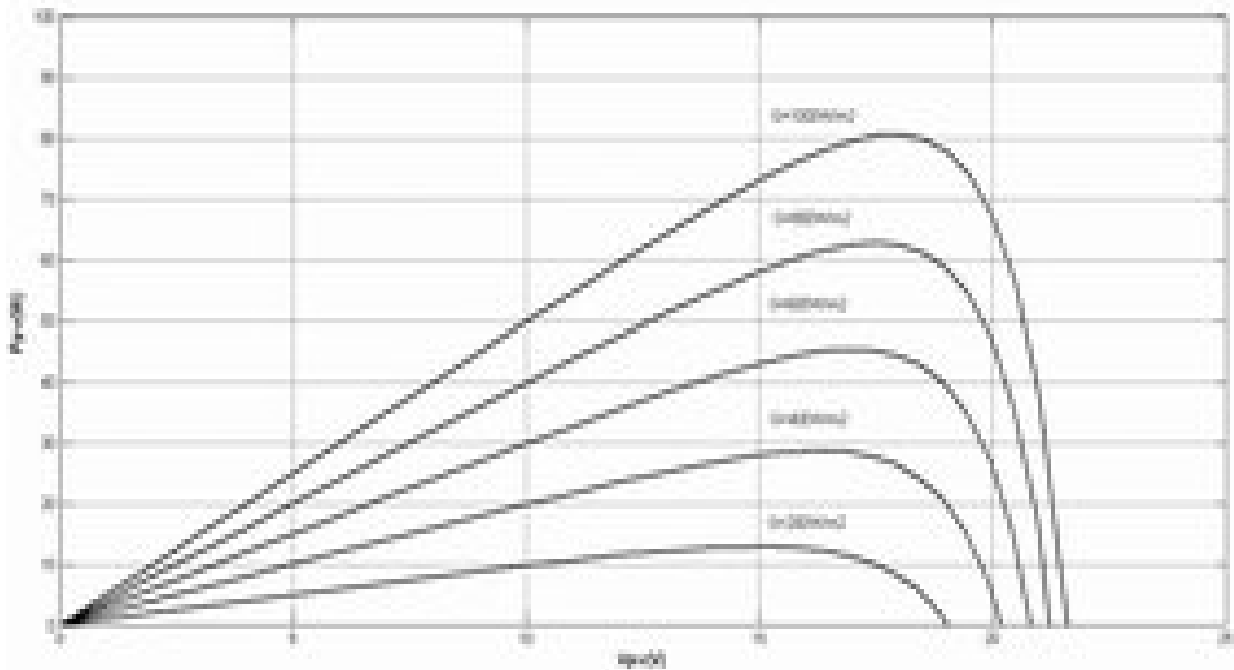


Figure II.7 : Caractéristique puissance-tension d'un module photovoltaïque pour différents niveaux d'irradiation ($G=200, 400, 600, 800, 1000 G= 1000 \text{ W/m}^2$) et $T_c=25^\circ\text{C}$.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

b) Influence de la température :

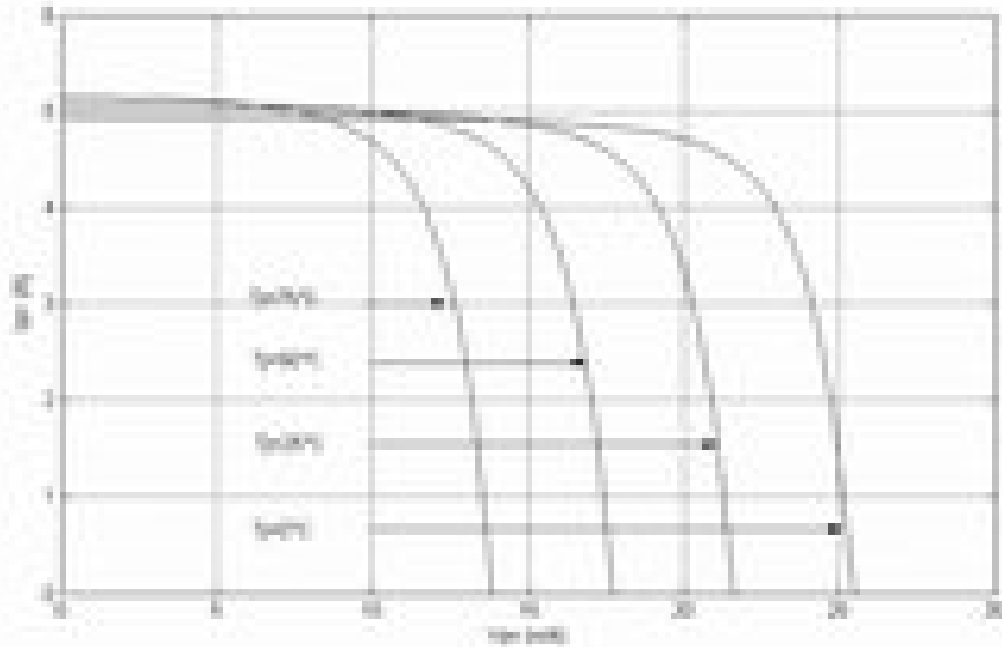
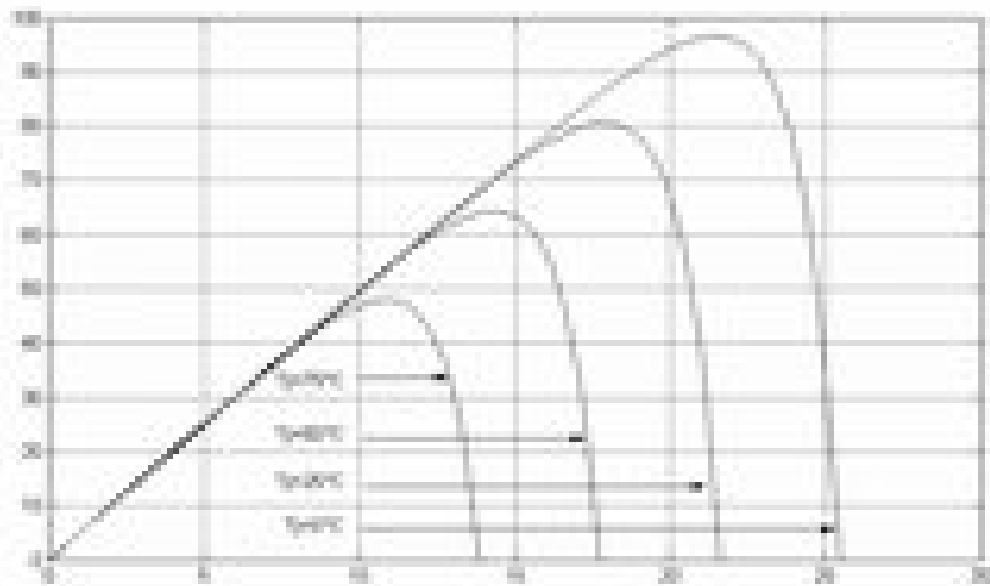


Figure II.8 : caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque pour différents niveaux de température ($T_c = T_j = 0, 25, 50, 75^\circ\text{C}$) et $G = 1000\text{W/m}^2$.



...-tension d'un module photovoltaïque pour différents

... = $T_j = 0, 25, 50, 75^\circ\text{C}$) et $G=1000 \text{ W/m}^2$.

II. 3 Modélisation du générateur éolien :

Notre chaîne de conversion éolienne se compose d'une voileure qui capte l'énergie cinétique du vent couplée directement à une génératrice synchrone qui débite sur un bus continu via un redresseur à diodes ; c'est la structure que nous retenons pour ce travail de modélisation et de simulation. . La Figure (II.10) rappelle le schéma synoptique d'une chaîne éolienne de petite puissance abordée dans notre travail.

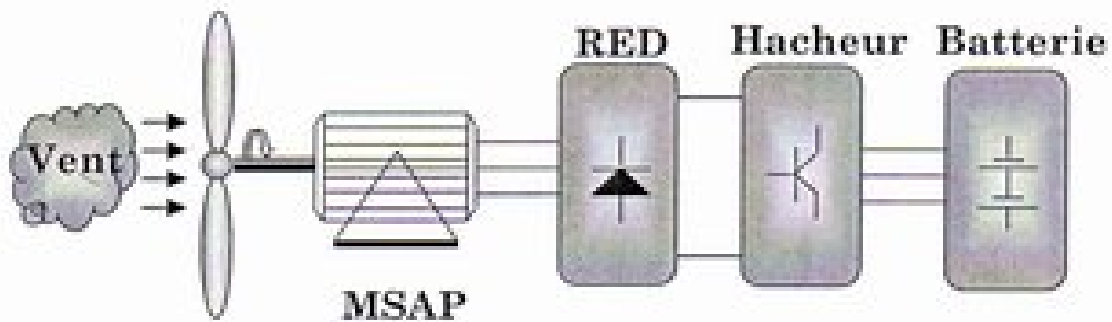


Figure II.10 : Chaîne éolienne de petite puissance.

II.3.1 Modélisation de la turbine :

Une voileure éolienne transforme l'énergie de la masse d'air en mouvement et délivre une puissance mécanique caractérisée par la vitesse de rotation et le couple mécanique [6].

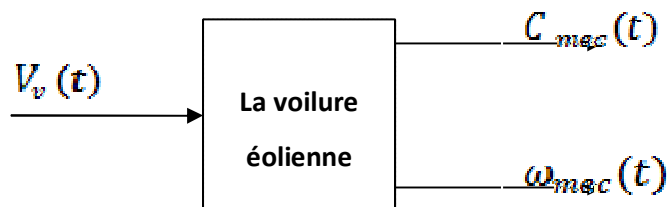


Figure II.11 : entrées-sorties du modèle de la voileure.

qui est donnée par l'équation suivante :

$$P_{\text{éol}} = \frac{1}{2} * C_p(\lambda) * \rho * S * V_v^3 \tag{II-16}$$

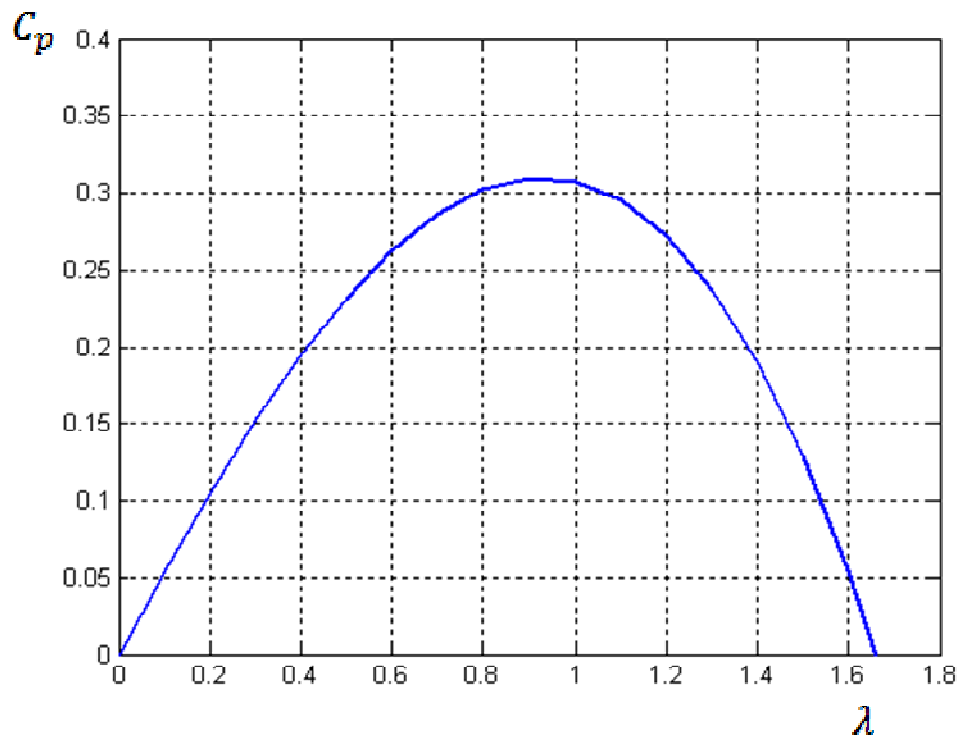
Avec :

$$S = 2\pi R_p^2 \tag{II-17}$$

$$\lambda = \frac{R.\Omega}{V_v} \tag{II-18}$$

Pour concrétiser le comportement mécanique de la voile, on a pris en considération la voile étudiée par [22]. L'expression du coefficient de puissance de la voile est :

$$C_p(\lambda) = -0.13\lambda^3 - 0.117\lambda^2 + 0.5541\lambda \tag{II-19}$$



caractéristique de la voilure étudiée.

II.3.2 Modélisation du couplage mécanique entre la turbine et la génératrice

La représentation mécanique de la chaîne éolienne tout entière est très complexe. Les éléments mécaniques de l'aérogénérateur et les forces subies ou transmises à travers ces éléments sont nombreux. Il faut par conséquent faire un choix des éléments et des grandeurs liées à ces éléments que l'on souhaite intégrer dans le modèle.

Dans notre travail, nous avons adopté un modèle simplifié, qui caractérise le comportement mécanique de la chaîne dans son ensemble [28].

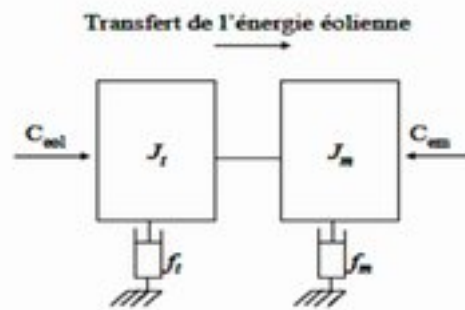


Figure. II.13 : Le couplage mécanique entre la turbine et la machine électrique

L'équation différentielle qui caractérise le comportement mécanique de l'ensemble turbine et génératrice est donnée par :

$$C_{sol} - C_{em} - (f_m + f_t)\Omega = (J_m + J_t) \frac{d\Omega}{dt} \quad (II-20)$$

Avec :

- J_m : inertie de la machine
- f_m : coefficient de frottement de la machine
- J_t : inertie de la turbine ;
- f_t : frottement des pâles ;
- C_{sol} : le couple statique fournie par l'éolienne.

$$J_t \gg J_m \Rightarrow (J_t + J_m) \approx J_t = J$$

D'où l'équation mécanique devient :

$$C_{sol} - C_{sm} - f\Omega = J \frac{d\Omega}{dt} \quad (II-21)$$

II.3.3 Modélisation de la génératrice synchrone à aimant permanent :

La modélisation de la génératrice synchrone et primordiale pour concevoir des systèmes de commandes performantes, ceci consiste à décrire son comportement par un modèle mathématique, la génératrice à aimant permanent dans sa configuration exacte est complexe.

La structure générale d'une machine synchrone bipolaire à aimants permanents est présentée par la figure suivante (II.14) :

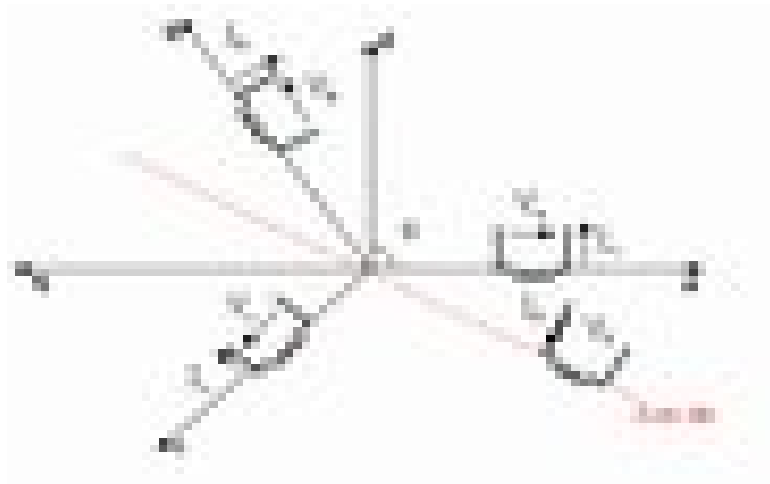


Figure II.14 : Représentation symbolique de la MSAP

Hypothèses simplificatrices :

Afin de présenter un modèle qui correspond à cette dernière, il est indispensable d'adapter des hypothèses simplificatrices suivantes :

dans l'acier sont négligeables ;
régime non saturé ;

3. Les résistances de fuites sont indépendantes de la position du rotor ;
4. La distribution de la force magnétomotrice est sinusoïdale. Ce qui nous permet de considérer seulement la première harmonique de l'espace de la distribution de la F.M.M créée par chaque phase de l'induit [6].

Equation de la génératrice dans le repère abc :

Equations électriques :

$$\begin{cases} V_a = RI + \frac{d}{dt} \Phi_a \\ V_b = RI + \frac{d}{dt} \Phi_b \\ V_c = RI + \frac{d}{dt} \Phi_c \end{cases} \quad (II-22)$$

Avec :

$$\begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi_{fa} \\ \Phi_{fb} \\ \Phi_{fc} \end{bmatrix} \quad (II-23)$$

Et :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{fa} \\ \Phi_{fb} \\ \Phi_{fc} \end{bmatrix} = \Phi_f * \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \cos(\theta - \frac{2 * \Pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2 * \Pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (II-24)$$

Où :

- V_a, V_b, V_c : Tensions de phases statoriques.
- I_a, I_b, I_c : Courants de phases statoriques.
- R : Résistances de chaque phase.
- L : Inductance propre de chaque phase.
- Φ_{abc} : Flux statoriques.

deux phases du stator.

produits par les aimants permanents rotoriques à travers

les enroulements du stator.

- Φ_f : Amplitude du flux des aimants permanents.
- θ : Angle électrique du rotor par rapport au stator de la génératrice.

Et en écriture matricielle nous aurons l'équation suivante :

$$[V] = [R] * [I] + [L] * \frac{d}{dt} [I] + [E] \quad (II-25)$$

Avec :

$$[V] = \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix}, \quad [R] = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix}, \quad [L] = \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix}, \quad [I] = \begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} Ea \\ Eb \\ Ec \end{bmatrix} = -\sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d}{dt} \Phi_f * \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\theta - 2 * \frac{\pi}{3}) \\ \sin(\theta - 4 * \frac{\pi}{3}) \end{bmatrix}. \quad (II-26)$$

Les équations de MSAP dans le repère dq :

L'équation qui traduit le passage du système triphasé au système biphasé (d, q) est donnée par :

$$A = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos & \cos(-\frac{2}{3}) & \cos(-\frac{4}{3}) \\ \sin & \sin(-\frac{2}{3}) & \sin(-\frac{4}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Le facteur $\frac{2}{3}$ est choisit de façon à ce que la matrice A soit orthogonale ce qui facilite le calcul de la matrice inverse.

En reportant ces transformations dans les systèmes d'équations (flux statorique, flux rotorique, tensions), on obtient :

les axes (d,q):

$$\begin{cases} \Psi_d = L_d i_d + M_f I_f \\ \Psi_q = L_q i_q \end{cases} \quad (\text{II-27})$$

Où :

$$\begin{cases} L_d = L_d + (3/2)L_s2 \\ L_q = L_q - (3/2)L_s2 \\ M_f' = \sqrt{3/2}M_f \end{cases} \quad (\text{II-28})$$

Les équations relatives aux tensions suivant les axes (d,q):

$$\begin{cases} V_d = r_s i_d - p \Omega \Psi_q + \frac{d\Psi_d}{dt} \\ V_q = r_s i_q + p \Omega \Psi_d + \frac{d\Psi_q}{dt} \end{cases} \quad (\text{II-29})$$

Le couple est donné par :

$$C_e = p(\Psi_d i_q - \Psi_q i_d) = p[(L_d - L_q)i_d + \Phi_f]i_q \quad (\text{II-30})$$

II.3.4 Modélisation de redresseur à diodes :

La matrice de connexion du redresseur est donnée par l'équation matricielle suivante [11] :

$$\begin{bmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \cdot \begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.31})$$

$$I_{dc} = S_a * I_{ar} + S_b * I_{br} + S_c * I_{cr} \quad (\text{II.32})$$

Avec :

V_{dc} : est la tension redressée.

I_{dc} : Le courant modulé par le redresseur.

correspondant à l'état de l'interrupteur (égal à 1 si ouvert).

II.3.5 Modélisation du hacheur Buck-boost (dévolteur- élévateur) :

Pour une bonne exploitation de l'éolienne à une large bande de variation de vent, le convertisseur statique (DC/DC) sera l'élément clé pour avoir un rendement énergétique acceptable. Le hacheur Buck-boost présente, par ses caractéristiques, une alternative assez intéressante pour extraire le maximum de puissance tel que [23] :

- Pour des faibles vitesses du vent, il est nécessaire d'imposer un voltage faible coté DC en augmentant le rapport cyclique, le Buck-Boost fonctionnera en Boost (élévateur).
- Pour des grandes vitesses du vent, il est nécessaire d'imposer un grand voltage coté DC en diminuant le rapport cyclique, le Buck-Boost fonctionnera en Buck (dévolteur).

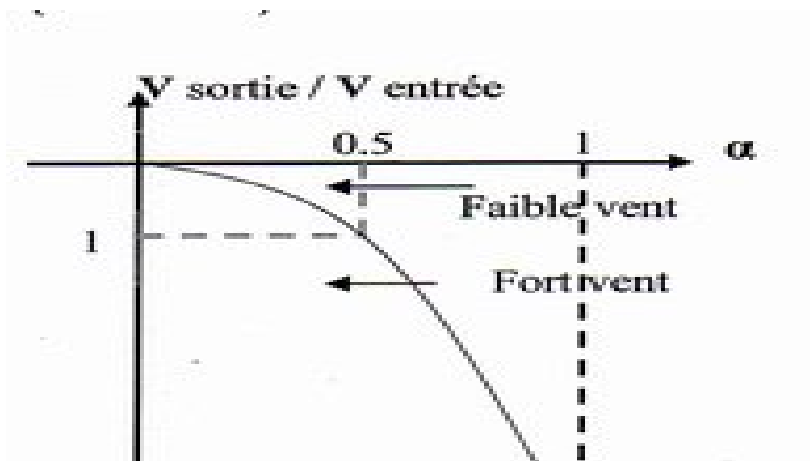


Figure II.15 : Caractéristique de fonctionnement du Buck-Boost suivant le rapport cyclique.

Le Buck-Boost est un régulateur présentant la particularité que la tension de sortie est régulée avec une polarité opposée à celle de la tension d'entrée. Ce hacheur est dit à stockage inductif car les charge sont alimentées pendant temps d'ouverture de l'interrupteur (convertisseur à accumulation et restitution d'énergie électrique) par une inductance [24].

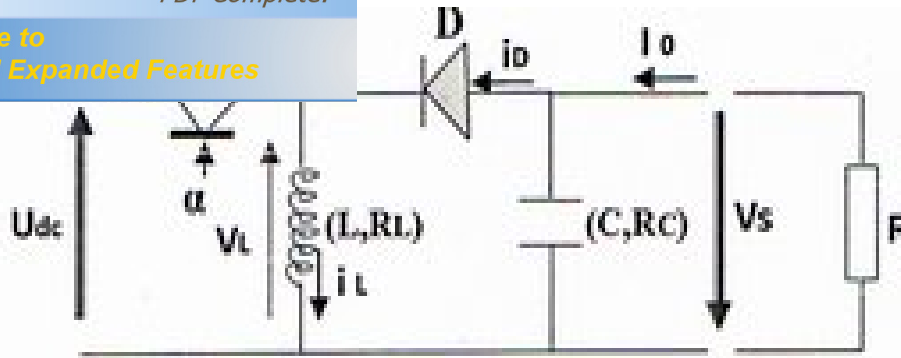


Figure II.16 : schéma du hacheur Buck-Boost.

II.3.5.1 Principe de fonctionnement :

Comme ce hacheur, comprend deux interrupteurs, dont l'un est commandé à l'amorçage et au blocage et l'autre est une diode, il présente deux séquences de fonctionnement illustrées par les figures suivantes [25]

a) Première phase (TH=1, D=0) (de 0- T) :

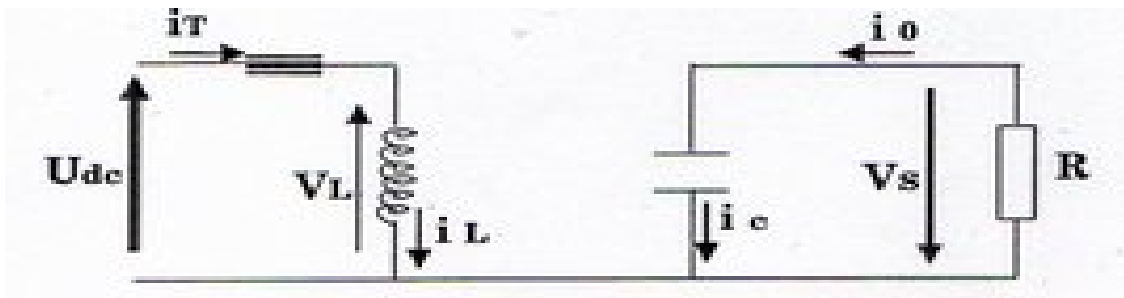


Figure II.17 : Première séquence de fonctionnement.

Pendant ce mode, le courant i_L circule à travers l'inductance qui emmagasine une certaine quantité d'énergie (chargement de l'inductance), et la diode D se bloque car la tension à ses bornes est négative.

$$V_L = U_c = L \frac{di_L}{dt} \quad (II-33)$$

Le condensateur C supposé préalablement chargé, fournit à la charge l'énergie et un courant i_o circule dans cette dernière.

(II-34)

AVEC

$$t_c = t_0$$

b) Deuxième phase (T=0, D=1) (de T-T) :

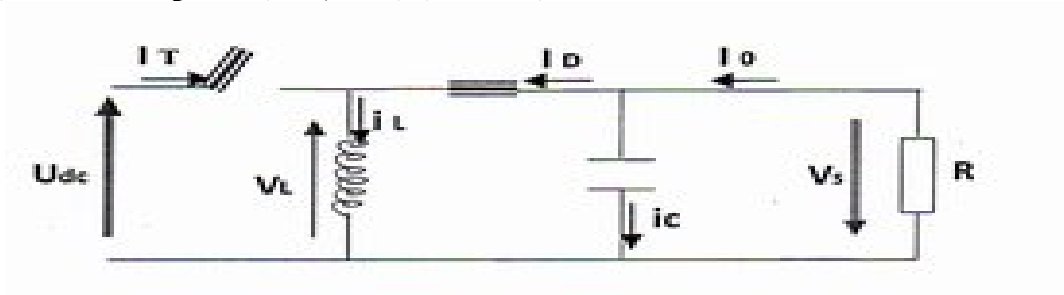


Figure II-18 : Deuxième séquence de fonctionnement.

Ce mode est appelé la phase de restitution d'énergie ou le condensateur C et la charge reçoivent l'énergie stockée dans la bobine L. La diode D conduit et l'interrupteur TH est ouvert.

$$V_L = -V_c = L \frac{di_L}{dt} \tag{II-35}$$

$$t_c = t_0 - t_L \tag{II-36}$$

La figure (II-19) illustre un cycle de fonctionnement du hacheur.

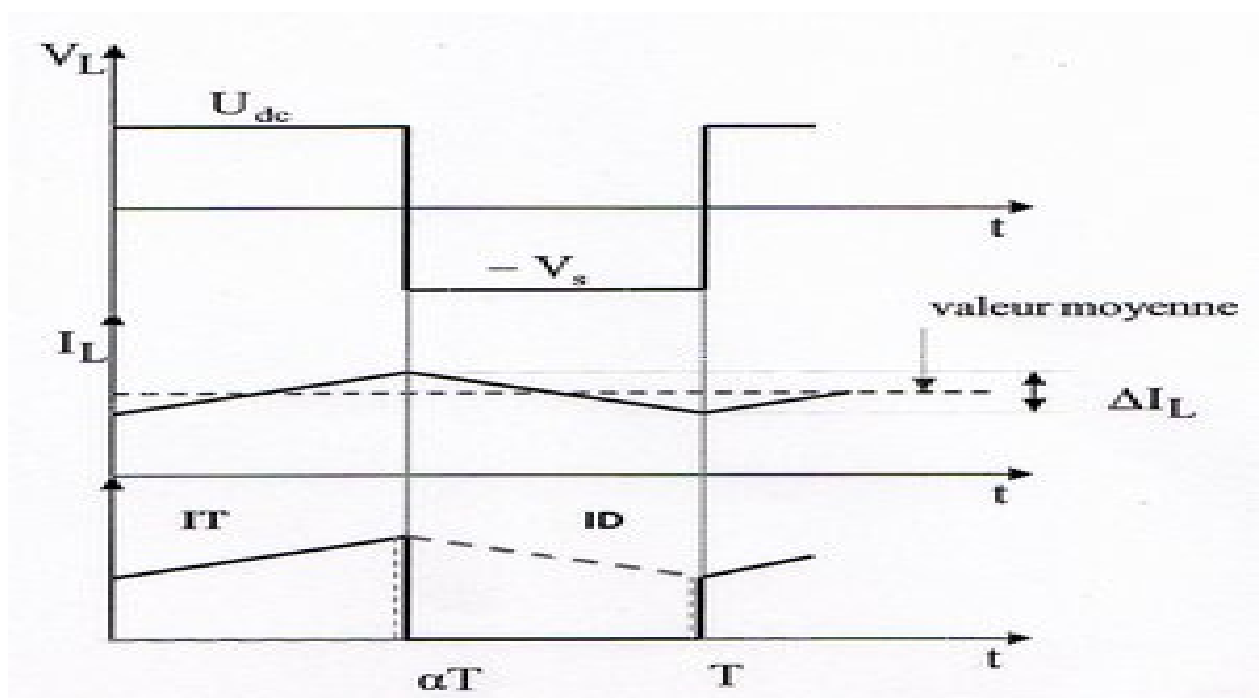


Figure II-19 : chronogramme des signaux principaux du hacheur inverseur.

uck-Boost [26]:

La tension de sortie est ajustée en agissant sur le rapport cyclique α . En régime de conduction continue, la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie est donné par :

Avec : $0 < \alpha < 1$

$$\frac{V_s}{U_{dc}} = -\frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (\text{II-37})$$

Avec : $0 < \alpha < 1$

La tension de sortie est négative par rapport à celle d'entrée. Sa valeur moyenne peut être supérieure ou inférieure à celle de la tension d'entrée selon que le rapport cyclique soit supérieur ou inférieur à 0.5.

La relation entre le courant d'entrée et celui de sortie est :

$$\frac{I_s}{I_{dc}} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \quad (\text{II-38})$$

Avec : $0 < \alpha < 1$

En tenant compte des caractéristiques réelles du circuit, on aura la relation suivante :

$$V_s = -\frac{\alpha}{1-\alpha} * \frac{1}{1+\frac{R_L}{R}(1-\alpha)} U_{dc} \quad (\text{II-39})$$

A partir des relations établies entre 0- T et .T-T et en faisant intervenir le rapport cyclique, on obtient le modèle moyen du hacheur :

$$\begin{cases} R_L \cdot i_L + L \frac{di_L}{dt} = \alpha(U_{dc} + V_s) - V_s \\ i_c(t) = C \frac{dV_c}{dt} + \frac{(V_s - V_c)}{R_c} = (1-\alpha) \cdot i_L - \frac{V_s}{R} \end{cases} \quad (\text{II-40})$$

, on aura le système suivant :

$$\begin{cases} (R_L + L_p)I_L(p) = \alpha(U_{dc} + V_s) - V_s \\ \left(C_p + \frac{1}{R_c}\right)V_c(p) = (1 - \alpha)I_L - V_s\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_c}\right) \end{cases} \quad (II-41)$$

II.4 Modélisation de l'onduleur :

L'onduleur de tension MLI triphasé permet l'échange d'énergie entre une source de tension continue et une charge inductive triphasée [8].

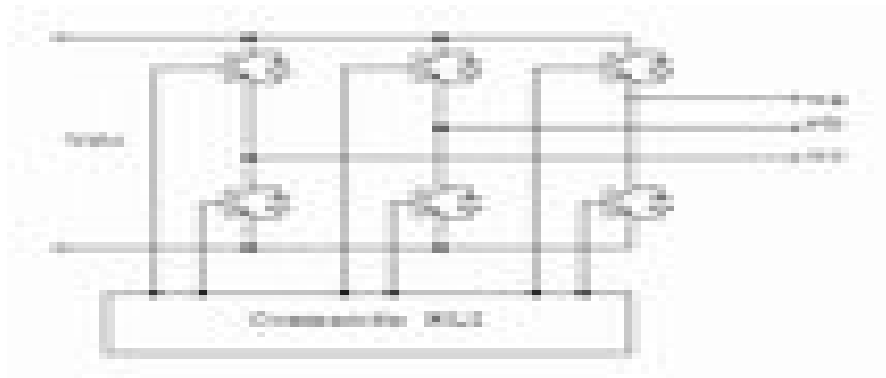


Figure II.20 : Schéma électrique de l'onduleur MLI de tension.

La matrice de connexion de l'onduleur est donnée par l'équation matricielle suivante [8] :

$$\begin{bmatrix} V_{cha} \\ V_{chb} \\ V_{chc} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_a' \\ S_b' \\ S_c' \end{bmatrix} \quad (II.42)$$

$$I_{dc} = S_a' * I_{asc} + S_b' * I_{bcs} + S_c' * I_{csa} \quad (II-43)$$

Avec

- I_{dc} : Le courant modulé par l'onduleur.
- S_a', S_b', S_c' : sont des fonctions logiques correspondant à l'état de l'interrupteur (égal à 1 si l'interrupteur est fermé et 0 si il est ouvert).

II.5 Modélisation de la batterie :

est utilisé dans les programmes de simulations numériques s'inspire du modèle des batteries d'automobile [27].

Soit U la tension aux bornes de la batterie :

$$U_{bat} = U = E_0 - K \cdot \frac{\int I_b dt}{Q_0} - R_b \cdot I_b \quad (II-44)$$

- E_0 : est la tension à vide de la batterie chargée.
- K : est une constante qui dépend de la batterie.
- R_b : est la résistance interne de la batterie.
- I_b : est le courant de décharge.
- $\frac{\int I_b dt}{Q_0}$: indique l'état de décharge de la batterie.
- Q_0 : est la capacité de la batterie en (Ah).

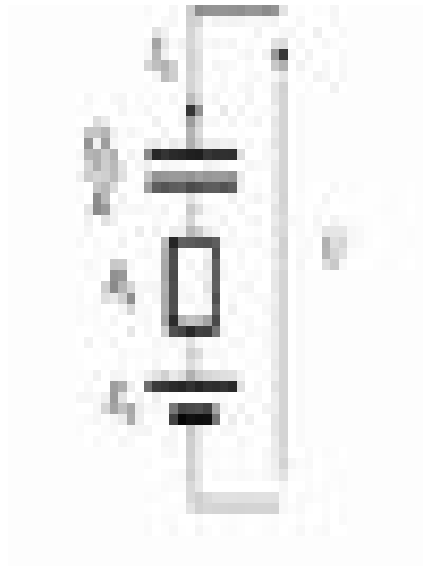


Figure II.21 Modèle électrique de la batterie.

Conclusion :

ns étudié les chaînes de conversion éolienne et
ons élaboré des modèles soit à partir des données du
constructeur soit après des hypothèses simplificatrices.

L'optimisation du dimensionnement et de la gestion de l'énergie d'un tel système, nécessite une modélisation fine de chaque maillon de la chaîne. Les modèles des sous système de production élaborée dans ce chapitre seront utilisées à cet effet. Le chapitre suivant est consacré a la commande et la simulation numérique de la chaîne de production d'énergie hybride.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CHAPITRE III

Commande Du Système D'énergie hybride

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

L'objectif de la commande du système d'énergie hybride est de pouvoir fournir l'énergie demandée par la charge, malgré les grandes variations de l'énergie produite causées par la nature stochastique des ressources renouvelables.

Le principe de la commande appliqué consiste à contrôler les tensions des sources d'énergie renouvelable de tel sorte qu'elles seront égales à la tension du bus à courant continu, quelque soit les variations de l'éclairage et de la vitesse du vent et d'extraire le maximum de puissance des sources renouvelables.

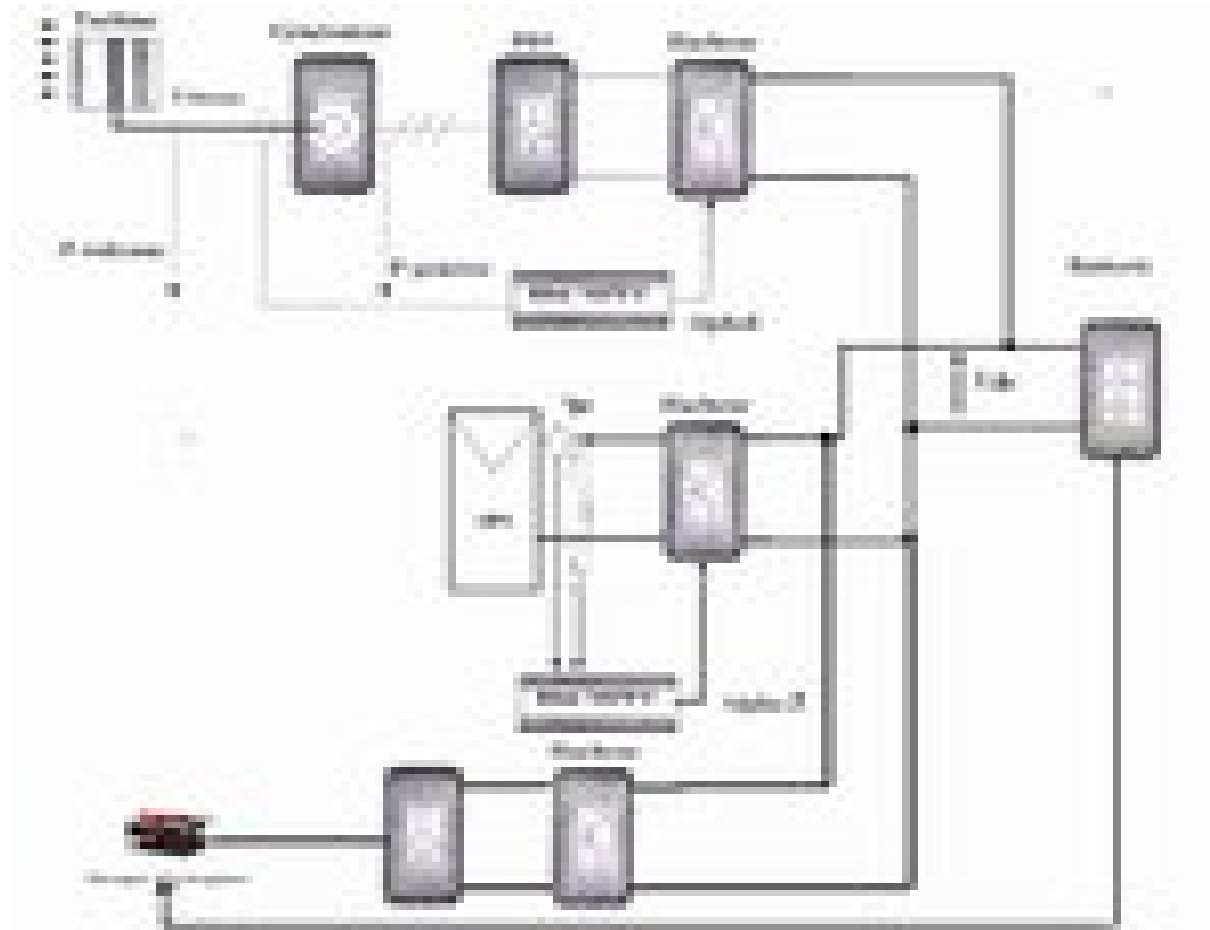


Figure III-1 : Principe de la commande du système d'énergie hybride.

III.1 Commande du générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortie mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs

En effet la caractéristique $I(V)$ du générateur dépend de la température. Ces variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandés permettant de poursuivre le point de puissance maximale. Ces commandes sont, connus sous le nom de MPPT (Maximum Power Point Tracking) associées au hacheur, lequel assure le couplage entre le générateur PV et le récepteur en forçant le premier à délivrer sa puissance maximale. Les techniques MPPT sont utilisées dans les systèmes photovoltaïques pour maximiser la puissance délivrée par le panneau photovoltaïques en poursuivant continuellement le point de puissance maximale, ce qui n'est pas évident à atteindre ; En effet, ce problème de poursuite fait jusqu'à nos jours l'objet de plusieurs recherches. Aussi, plusieurs méthodes ont été élaborées et utilisées.

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale (MPPT Max Power Point Tracker). Ceci permet de garantir que le maximum d'énergie sera récupéré, quels que soient la température et l'ensoleillement. En général, ces régulateurs fonctionnent soit en élevant, soit en réduisant la tension (hacheur Buck-Boost). Un premier circuit ajuste la demande au point de puissance maximale de l'ensemble des panneaux et un deuxième circuit transforme le courant et la tension pour l'adapter au type de batterie.

Le régulateur de MPPT est constitué de deux parties distinctes [28]: la partie commande dont le but est de déterminer le point de fonctionnement, et la partie puissance qui assure le transfert d'énergie entre les panneaux solaires et les batteries.

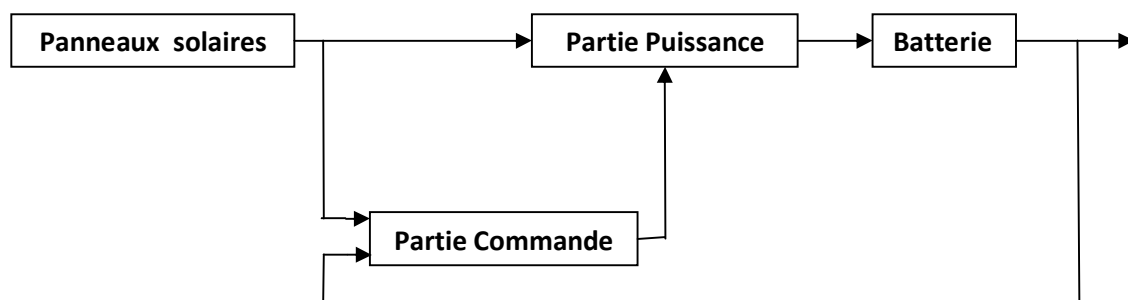


Figure III-2 : Schéma de principe du MPPT.

compose d'un convertisseur AC/AC (hacheur Buck) existe plusieurs algorithmes qui peuvent être utilisés dans la recherche du Point de Puissance Maximale. Nous montrons deux commandes les plus utilisées [28]:

III.1.1. Méthode « Perturbation et Observation »

C'est la méthode la plus utilisée du fait de sa simplicité : une boucle de retour et peu de mesures sont nécessaires. La tension aux bornes des panneaux est volontairement perturbée (augmentée ou diminuée) puis la puissance est comparée à celle obtenue avant perturbation. Précisément, si la puissance aux bornes du panneau est augmentée du fait de la perturbation, la perturbation suivante est faite dans la même direction. Réciproquement, si la puissance diminue, la nouvelle perturbation est réalisée dans le sens opposé.

L'organigramme fonctionnel de cet algorithme est le suivant :

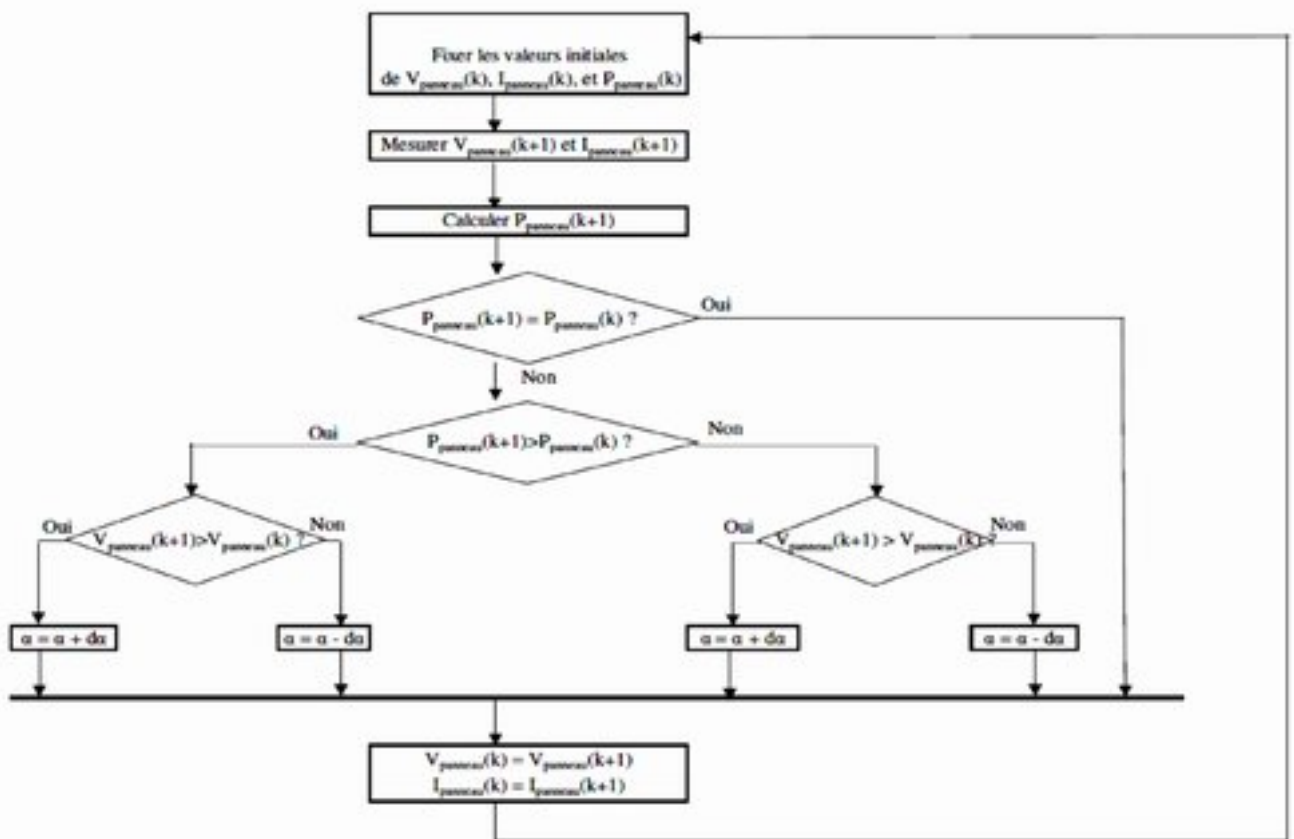


Figure III-3 : Diagramme fonctionnel algorithme "perturbation et observation".

en sortie du panneau à l'itération k .

- $I_{\text{panneau}}(k) = I_{pv}(k)$: Intensité de courant en sortie du panneau à l'itération k .
- $P_{\text{panneau}}(k) = P_{pv}$: Puissance en sortie du panneau à l'itération k .

III.1.2 Méthode « conductance incrémentielle » :

Nous allons dans cette méthode nous intéresser directement aux variations de la puissance en fonction de la tension. La conductance est une grandeur physique relativement connue : il s'agit du quotient de l'intensité par la tension ($G = I/V$). La conductance incrémentielle est beaucoup plus rarement définie, il s'agit du quotient de la variation, entre deux instants, de l'intensité par celle de la tension ($\Delta G = dI / dV$). En comparant la conductance G à la conductance incrémentielle ΔG , nous allons chercher le maximum de la courbe (figure III.5) en cherchant le point d'annulation de la dérivée de la puissance.

Précisément la puissance en sortie de la source peut s'écrire :

$$P = I * V$$

D'où en dérivant :

$$\frac{dP}{dV} = I * \frac{dV}{dV} + V * \frac{dI}{dV} \tag{III-1}$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V * \frac{dI}{dV} \tag{III-2}$$

Donc

$$\frac{1}{V} * \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \tag{III-3}$$

Soit

$$\frac{1}{V} * \frac{dP}{dV} = G + \Delta G \tag{III-5}$$

En général, la tension issue de la source est positive, c'est pourquoi, nous pouvons déduire les résultats clés de la méthode de la conductance incrémentielle.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{St} \quad G = -\Delta G$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{St} \quad G < -\Delta G$$

Nous déduisons facilement les actions à faire dans les différents cas sur le schéma $P=f(V)$.

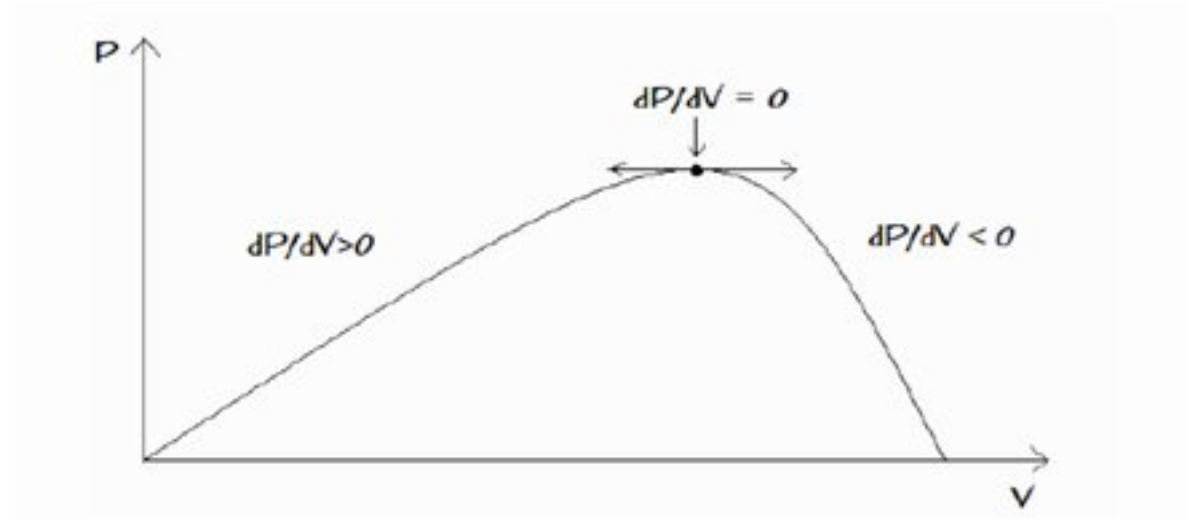


Figure III-4 : Evolution de la puissance disponible en fonction de la tension aux bornes d'un panneau.

$\frac{dP}{dV} > 0$ on augmente V_{panneau} .

$\frac{dP}{dV} = 0$ on garde V_{panneau} constant.

$\frac{dP}{dV} < 0$ on diminue V_{panneau} .

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

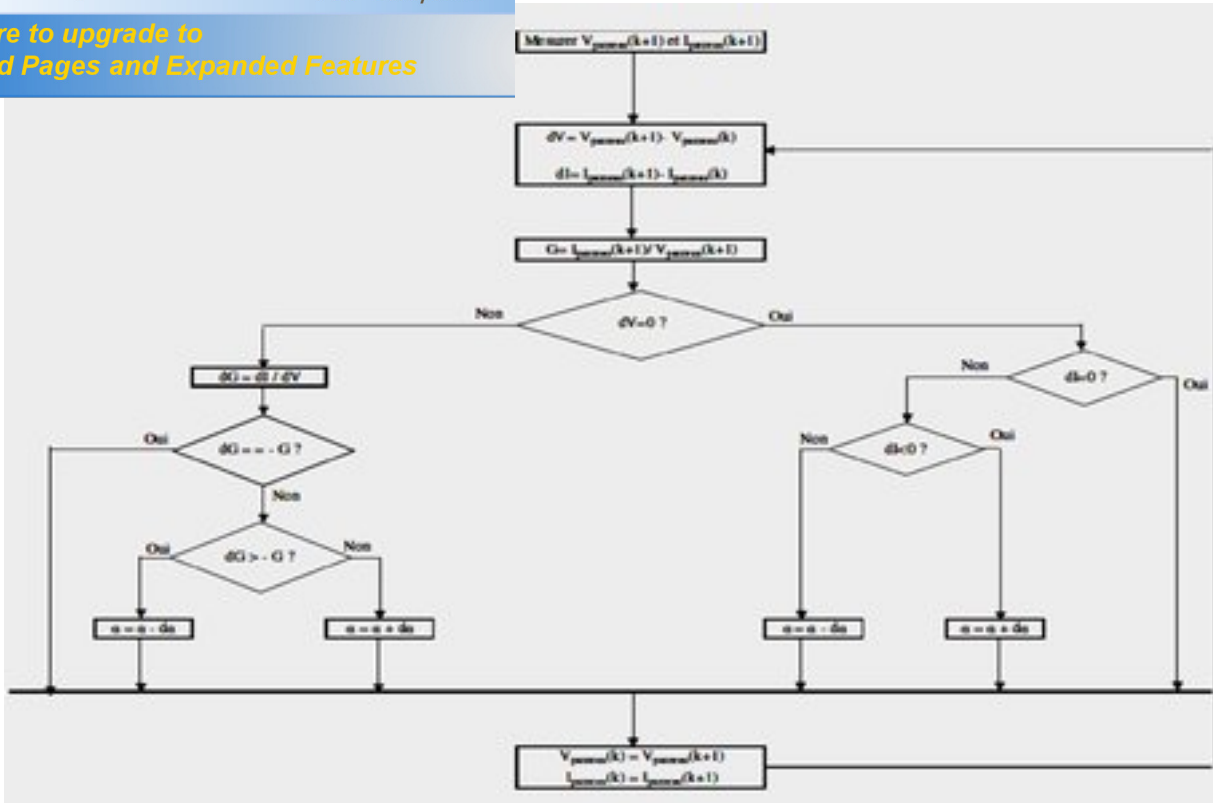
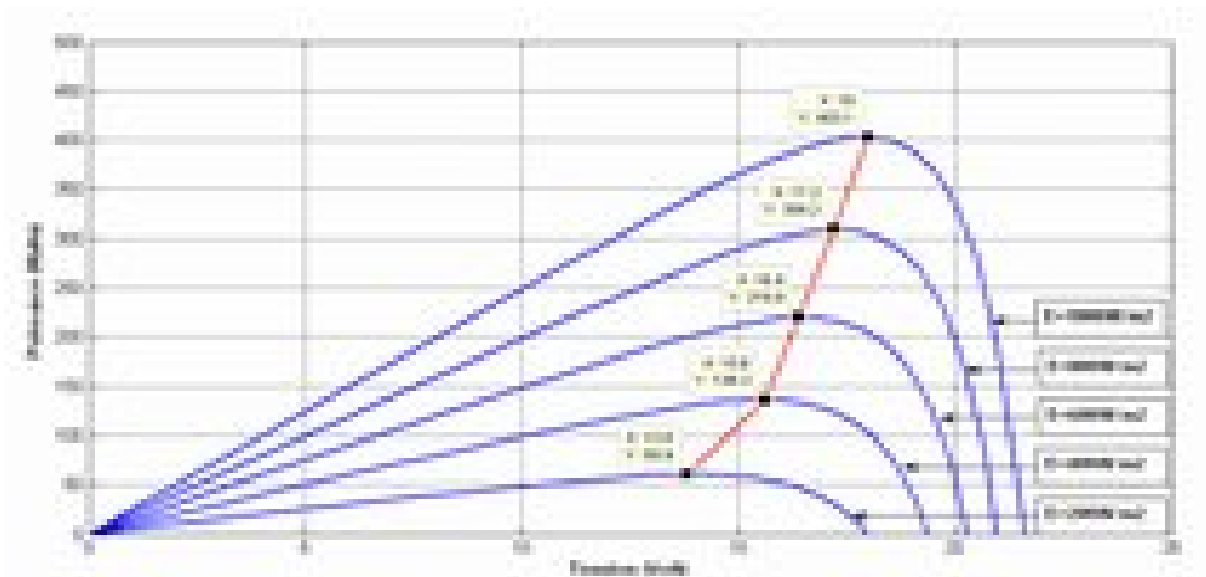


Figure III-5 : Diagramme fonctionnel algorithme "Conductance incrémentielle".

III.1.3 Résultats de simulation :

On a choisi l'algorithme "perturbation et observation" car c'est la méthode la plus utilisée du fait de sa simplicité, La simulation a été faite en utilisant le logiciel Matlab (voir annexe) et les résultats obtenus sont représentés sur les figures suivantes :

A. Simulation du fonctionnement pour une variation de l'éclairement et une température fixe :



née par la méthode "perturbation et observation" pour $G=200, 400, 600, 800, 1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$.

B. Simulation du fonctionnement pour une variation de température et un éclairement fixe :

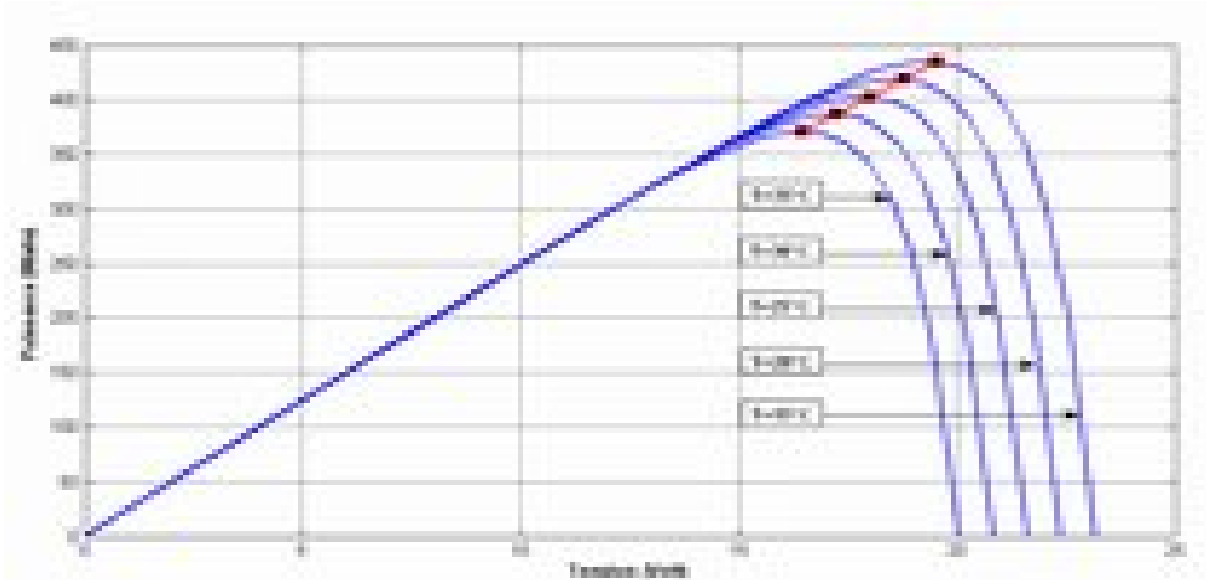


Figure III-7 : Puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau de température ($T = T_g = 15, 20, 25, 30, 35$) et $G=1000\text{W/m}^2$.

C. Simulation du fonctionnement pour une variation de l'éclairement et de la température :

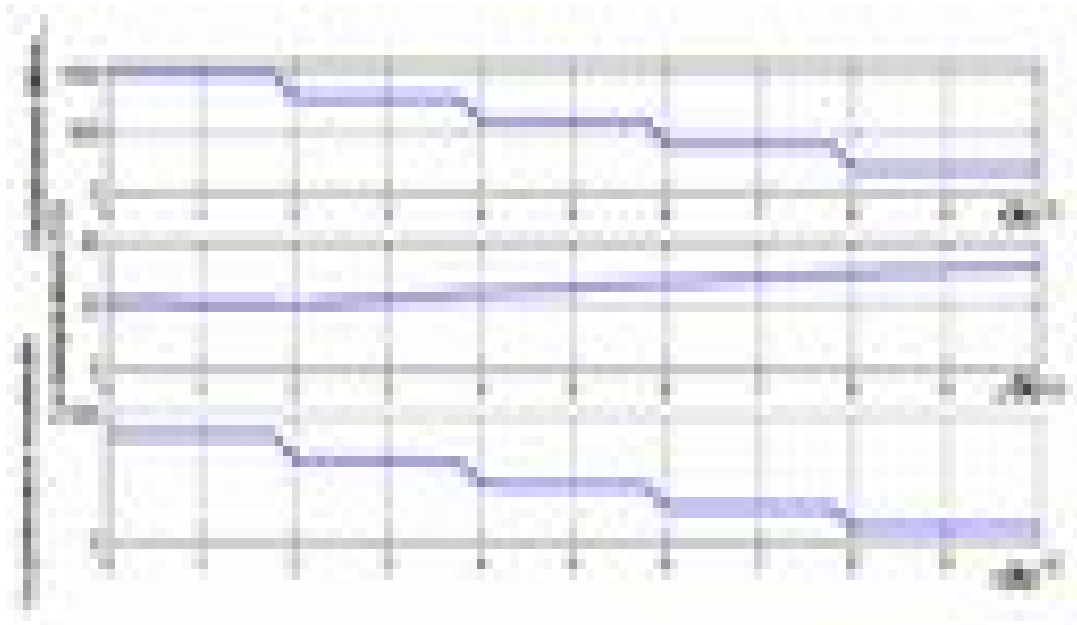


Figure III-8 : Variation de l'éclairement, de la température et de la puissance maximale estimée en fonction du temps.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

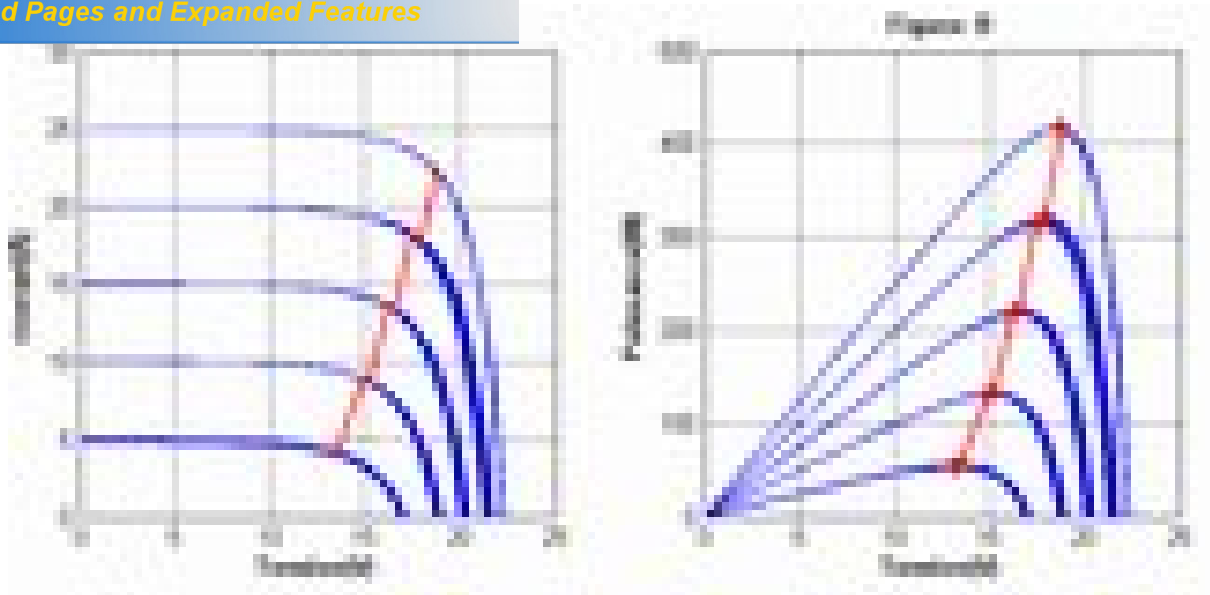


Figure III-9 : Puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau de température et d'éclairement.

D. Simulation du fonctionnement pour une variation de l'éclairement et de la température d'une journée d'été :

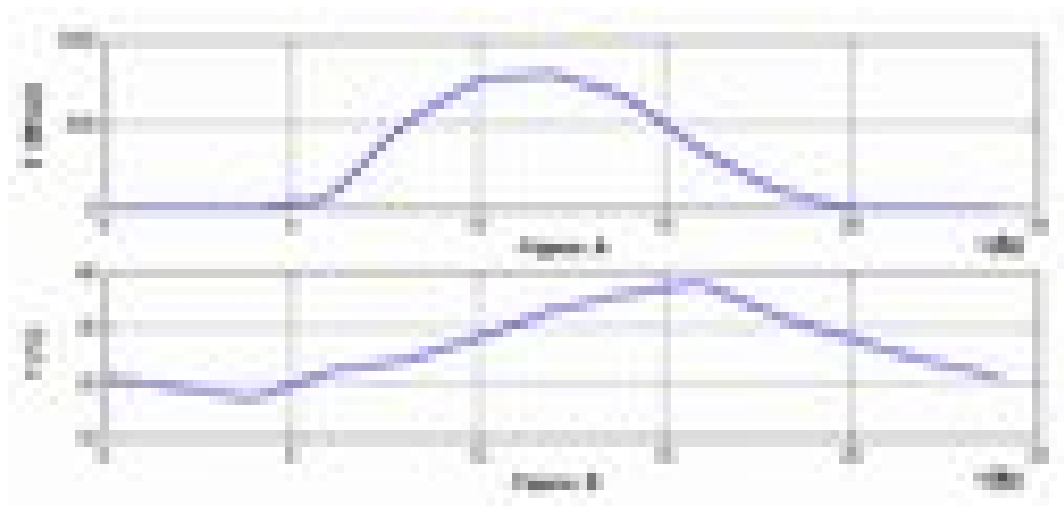


Figure III-10 : Variation de l'éclairement et de la température en fonction du temps pour une journée d'été.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

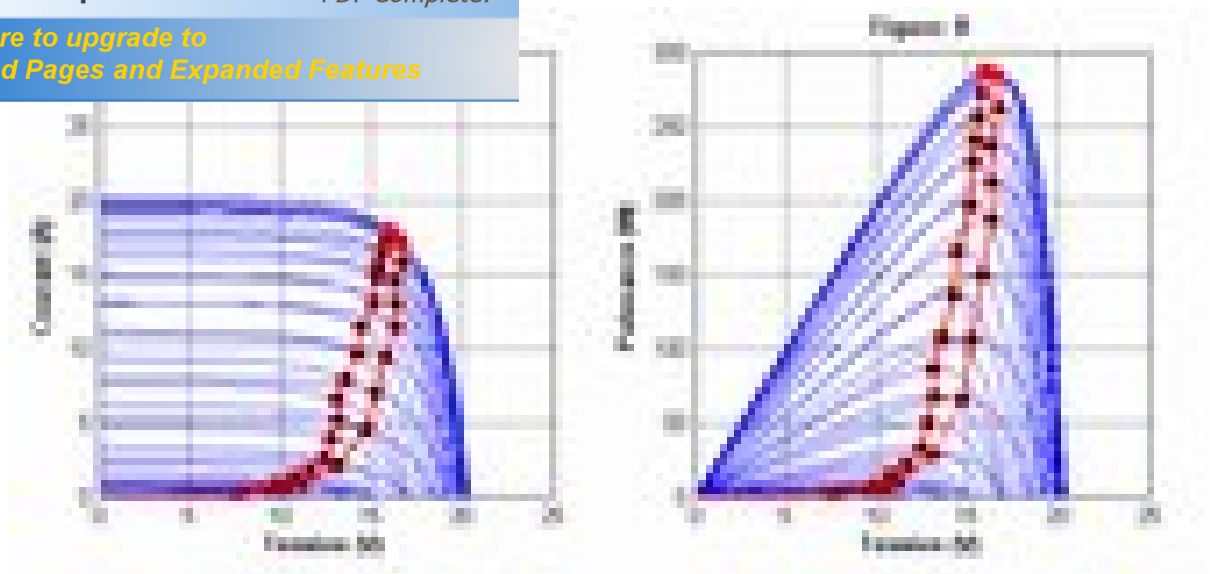


Figure III-11 : Points de puissance maximale estimée par la méthode "perturbation et observation" pour différent niveau de température et d'éclairement (figure A caractéristique courant-tension, figure B : caractéristique puissance-tension).



Figure III-12 : Variation de tension aux points de puissance maximale en fonction du temps sur une journée.

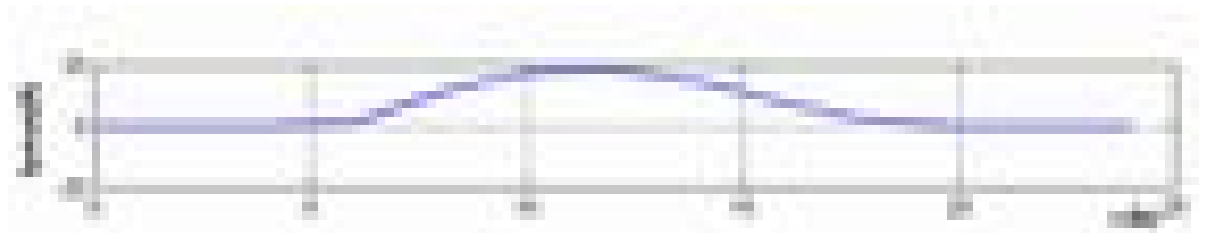


Figure III-13: Variation de courant aux points de puissance maximale en fonction du temps sur une journée.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

puissance maximale en fonction du temps sur une journée.



Figure III-15: Le courant de sortie du régulateur MPPT en fonction du temps sur une journée.

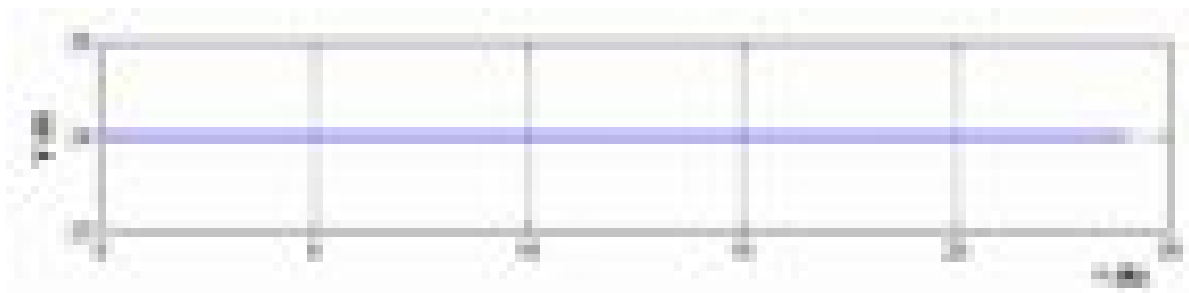


Figure III-16 : La tension de sortie du régulateur MPPT en fonction du temps sur une journée.

III.2 Commande de la chaîne de conversion éolienne :

III.1. Commande vectorielle [29]:

La commande vectorielle a pour objectif de réguler la tension continue à la sortie du redresseur par le contrôle des courants de références, (i_{q_ref}) qui sera déterminé à partir de la régulation de la tension continue aux bornes du bus continue et (i_{d_ref}) sera imposé nul.

Il s'agit d'une commande vectorielle en couple, dont le courant d'axe d est maintenu nul pour minimiser les pertes joules. Le courant d'axe q issu de la régulation de la tension continue à sa référence. La régulation des courants se fait à l'aide des régulateurs à hystérésis.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

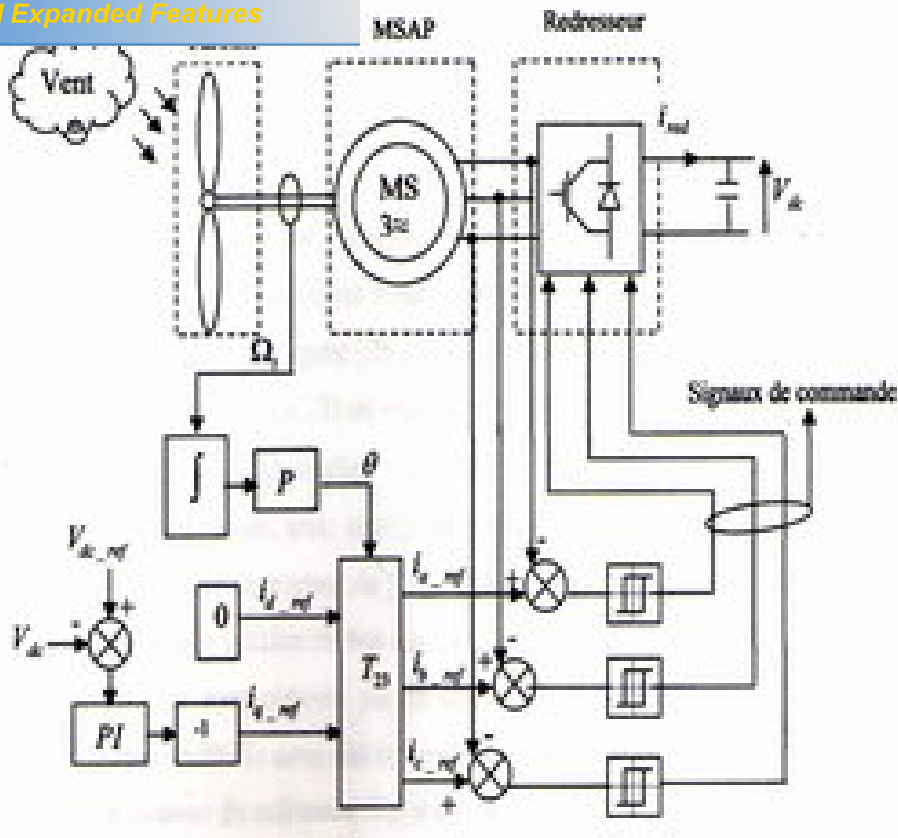


Figure III.17 : Schéma de principe de la commande vectorielle.

Quel que soit le but de la commande (régulation de vitesse, de couple ou de position), il est nécessaire de contrôler instantanément le couple. Ceci peut se faire en agissant sur les courants satoriques réels en agissant sur leurs composantes directes et en quadrature.

L'expression du couple est donnée par l'expression suivante :

$$C_e = p(\Psi_d i_q - \Psi_q i_d) = p[(L_d - L_q) i_d + \Phi_f] i_q \quad (III-6)$$

Dans le cas d'une MSAP à rotor lisse ($L_d = L_q$) l'expression du couple devient :

$$C_e = p \Phi_f i_q \quad (III-7)$$

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Si Φ_f est fixe, on remarque que ce couple ne dépend que de la composante en quadrature du courant i_q il est maximal, pour un courant donné, lorsque $i_d = 0$. Ainsi, le déphasage entre les courants de phase et les f.é.m. de la machine est nul d'après la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \Phi_f \end{bmatrix} \tag{III-8}$$

Et le couple électromagnétique est proportionnel aux courants d'alimentation, comme dans la machine à courant continu à excitation séparée. De même la puissance absorbée est optimisée pour $i_d = 0$.

III.1.1 Résultats de simulation :

Afin de bien montrer la robustesse de la commande vis-à-vis des variations de vitesse, nous avons réalisé un schéma de simulation (voir annexe) sous le logiciel Matlab-simulink. Un profile de vitesse du vent figure (III.19) est appliqué à la turbine éolienne. Et on a visualisé la vitesse de la génératrice figure (III.20), l'allure de cette dernière suit l'allure de la vitesse du vent. Comme on remarque que la tension V_{dc} est régulée et elle suit sa référence figure (III-25).

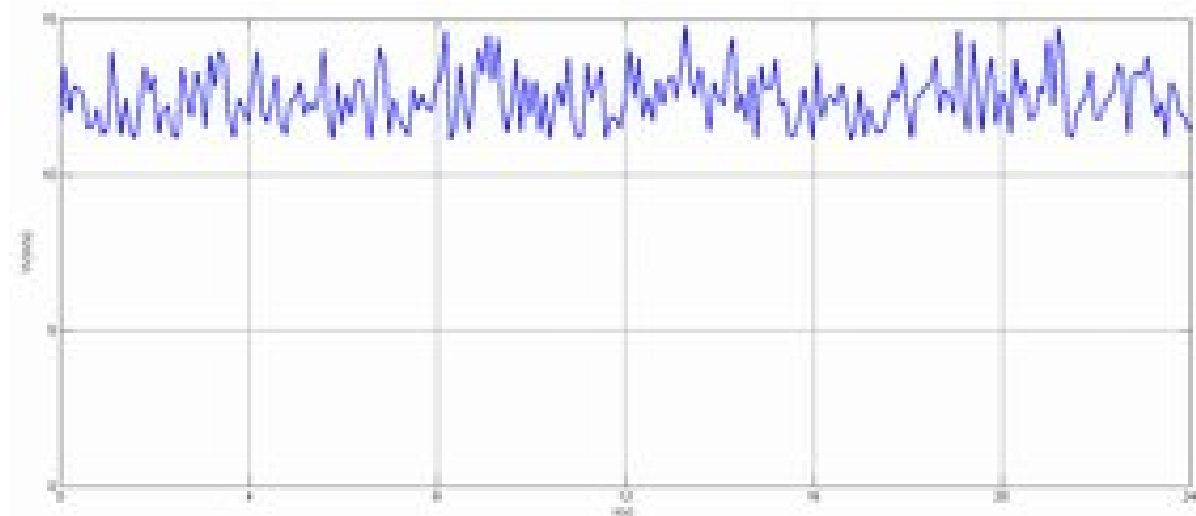


Figure III.18 : profil de la vitesse du vent.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

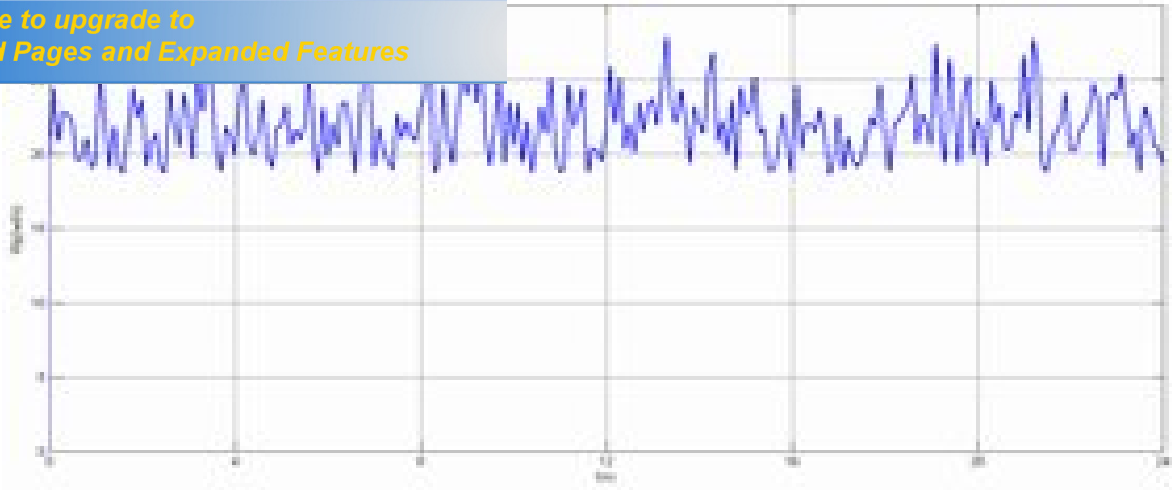


Figure III.19 : Allure de la vitesse de la génératrice.

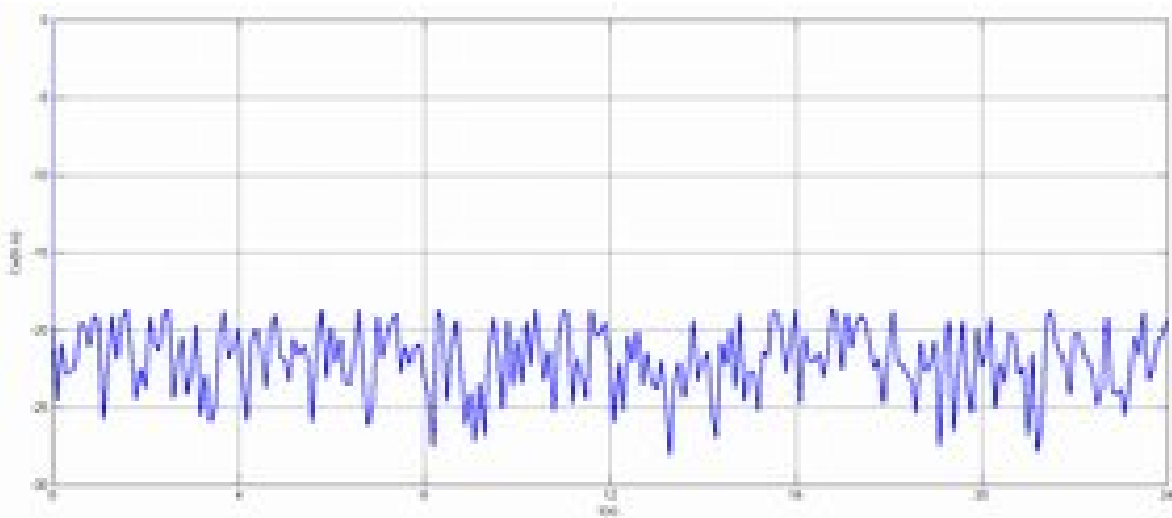


Figure III.20 : Allure du couple électromagnétique développé par la génératrice.

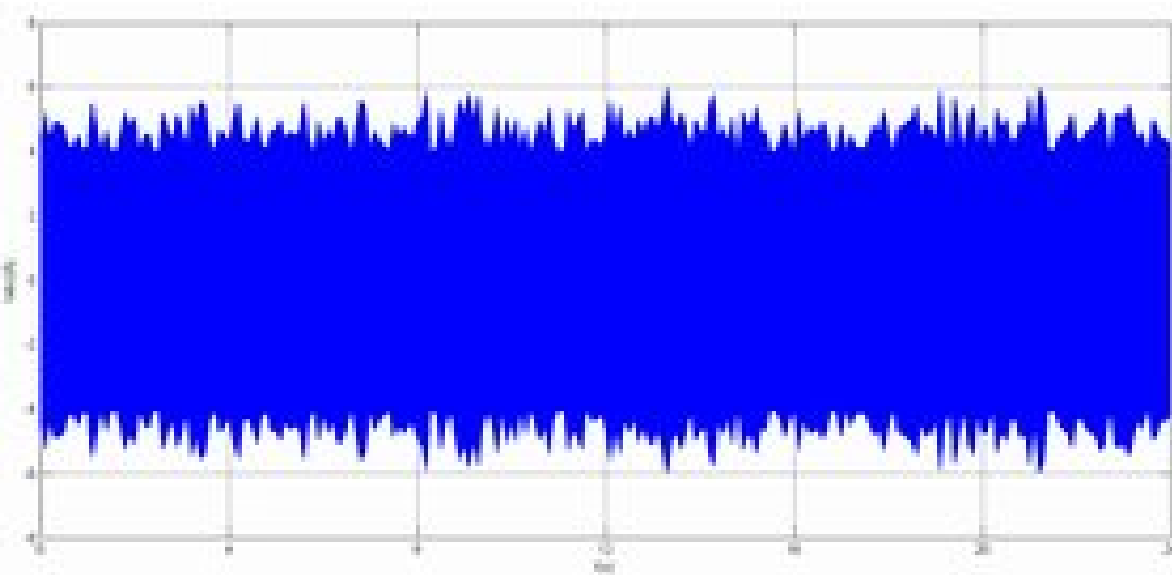


Figure III.21 : Allure des courants induits.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

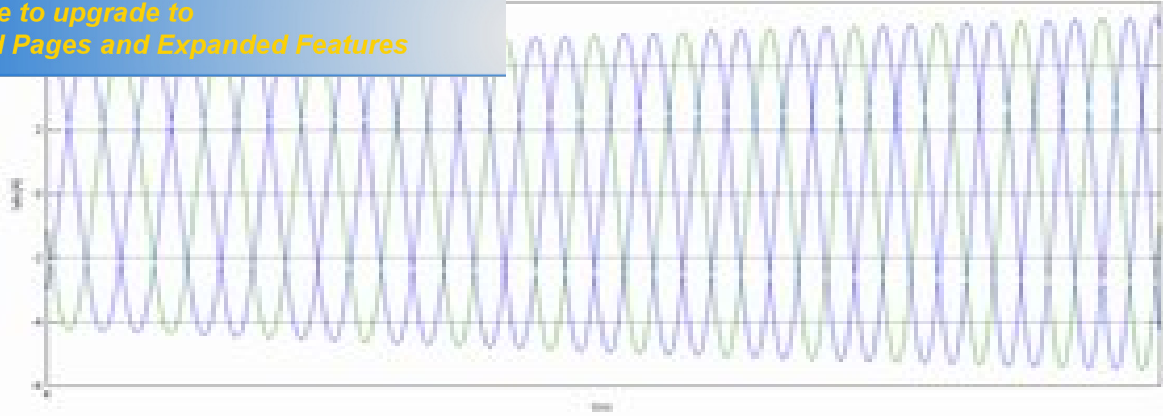


Figure III.22 : Zoom des courants induits

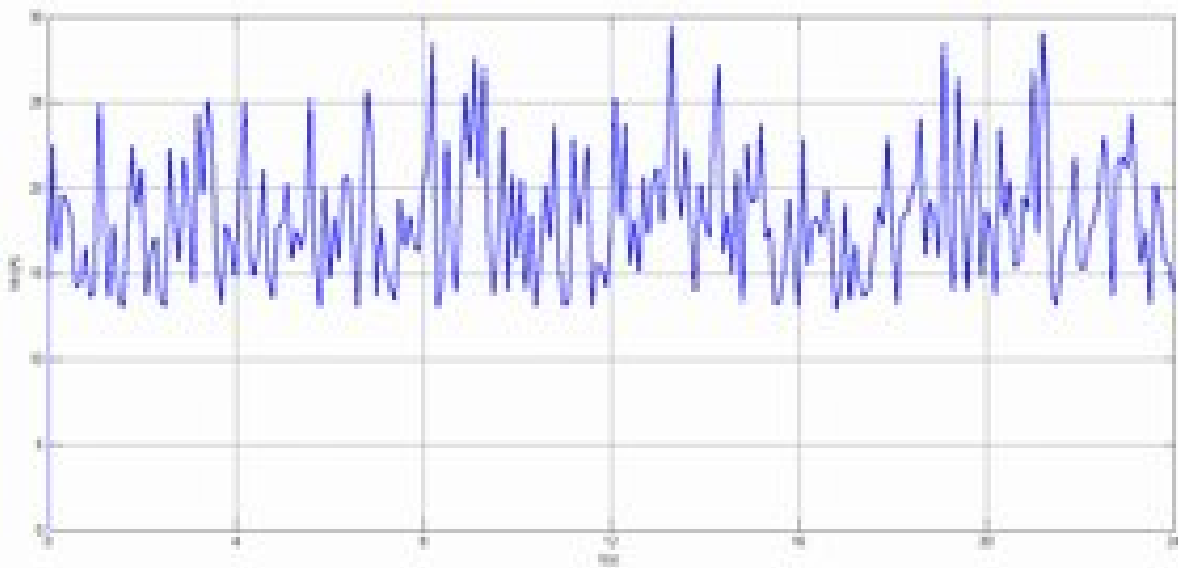


Figure III.23 : Allure du courant I_{dc} .

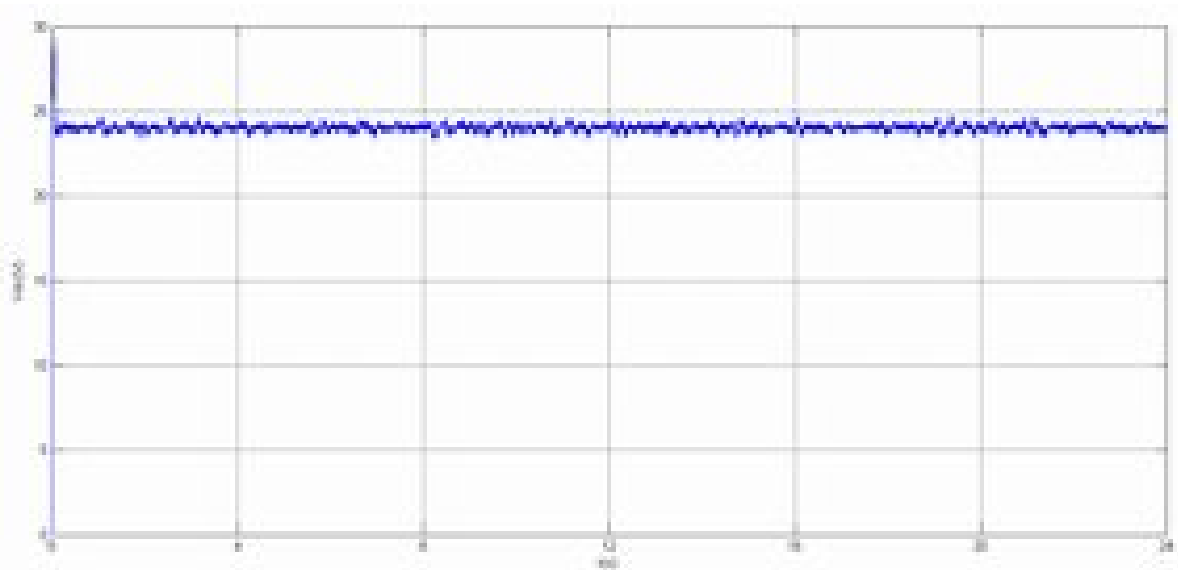


Figure III.24 : Allure de la tension V_{dc} .

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

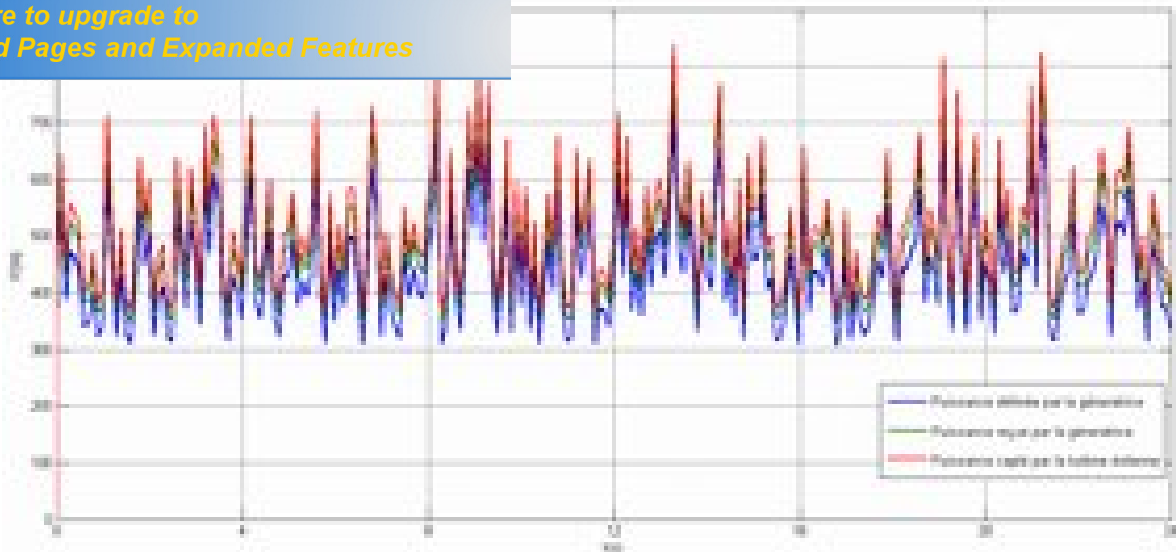


Figure III.25 : Allure de la puissance aux différents niveaux de la chaîne.

III.2.2 Commande MPPT [30] :

La structure étudiée a une spécificité que la charge impose sa tension au générateur. Par conséquent, l'aérogénérateur ne s'opère pas à sa puissance maximale [31].

Pour mieux exploiter le potentiel éolien et assurer une efficacité énergétique maximale de la chaîne étudiée, une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) s'impose. Dans ce but on opte à une stratégie de commande MPPT sans connaissance de la caractéristique de la voile. Cette stratégie consiste à contrôler la puissance éolienne capturée à partir du bus continu. Cela on utilisant le signal de commande du hacheur Buck-boost pour modifier la charge électrique vue de générateur.

La stratégie de la commande consiste à ramener la charge de la turbine qui est la génératrice à son maximum. Cette charge maximale correspond à une puissance optimale de la turbine. Dans cet ordre, la génératrice doit fournir sa puissance électrique maximale, ce qui permet une modification de la vitesse de rotation en fonction de l'évolution de celle du vent, d'une manière à ce qu'elle exige à l'éolienne d'atteindre son régime optimal.

Pour chaque vitesse du vent, il faut que le système trouve la puissance électrique maximale ce qui est équivalent à la recherche d'un couple de charge strictement défini. Ce dernier, avec le couple éolien détermine la vitesse de rotation optimale.

La puissance générée dépend de la charge électrique vue par le générateur (qui est en fonction du rapport cyclique), la recherche de rapport cyclique optimal permet de maximiser cette puissance. Donc l'algorithme de recherche du point optimal de puissance est basé sur la recherche du rapport cyclique optimal. La figure suivante représente la chaîne étudiée avec la commande proposée.

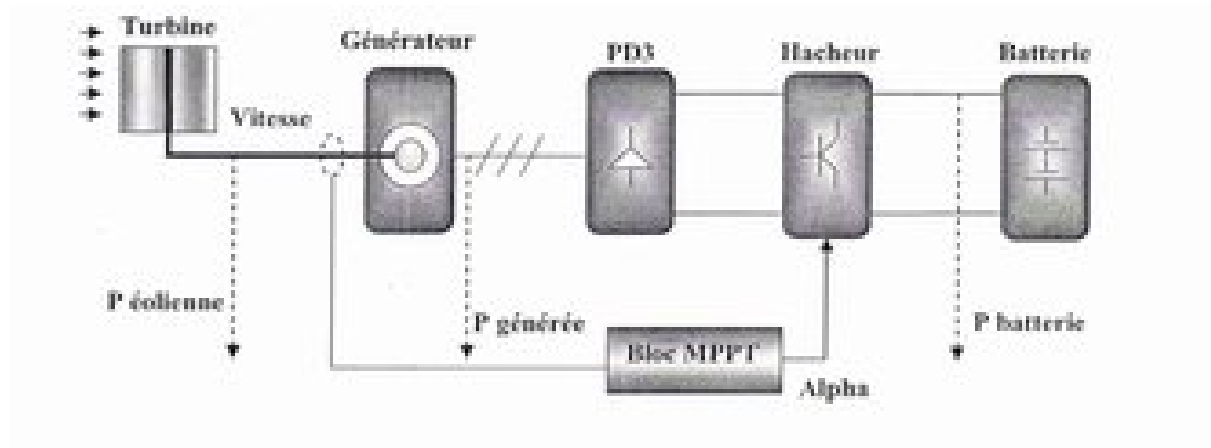


Figure III-26 : Schéma de la chaîne étudiée.

Pour l'implémentation de cette commande, on détermine en premier temps l'expression du rapport cyclique optimal.

III.2.2.1 Détermination du rapport cyclique optimal :

Afin d'établir l'expression du rapport cyclique optimal, on fait une analyse théorique du système étudié. Pour une étude simplifiée, on représente le système comme sur la figure suivante :

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

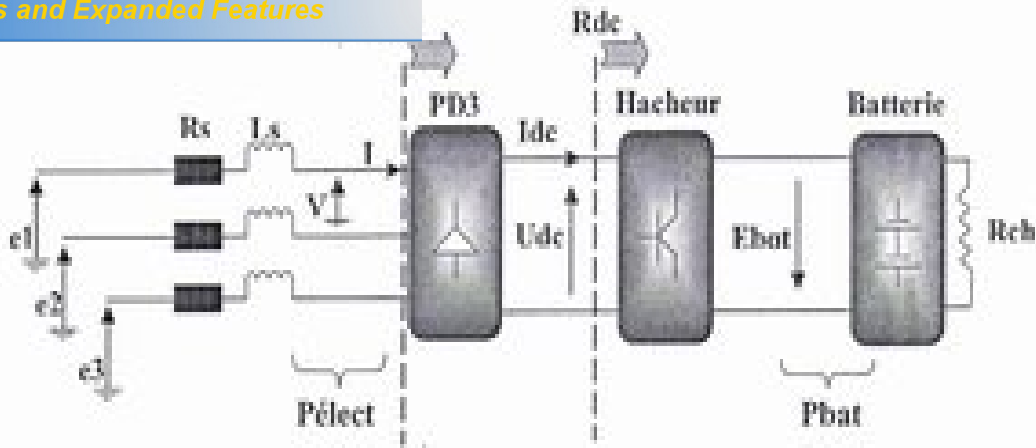


Figure III-27 : Représentation schématique de l'ensemble étudié.

En négligeant les divers pertes et en supposant que le système est parfait (rendement unitaire), la puissance électrique générée est égale à celle reçue par la batterie ($P_{élec} = P_{bat} = P$).

L'expression de la puissance **P** est :

$$P = \frac{U_{bat}^2}{R_{ch}} = \frac{U_{dc}^2}{R_{dc}} \tag{III-9}$$

Avec :

$$R_{dc} = R_{ch} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^2 \tag{III-10}$$

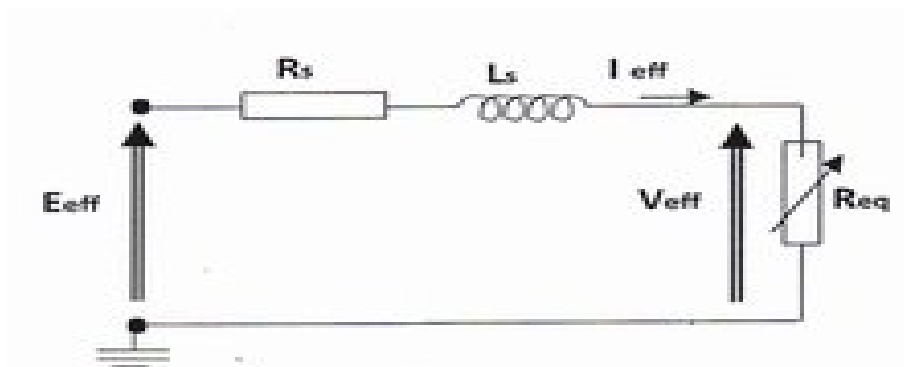


Figure III-28: schéma équivalent d'une phase de la génératrice.

On a :

$$R_{dc} = \frac{U_{dc}}{I_{dc}} = \frac{19 \cdot V_{eff}}{\pi^2 \cdot I_{eff}} \tag{III-11}$$

générateur écrit :

$$R_{eq} = \frac{V_{eff}}{I_{eff}} = \frac{\pi^2}{18} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^2 R_{ch} \quad (III-12)$$

La puissance électrique délivrée par le générateur écrit :

$$P_{elec} = 3 R_{eq} \cdot I_{eff}^2 \quad (III-13)$$

Avec :

$$I_{eff} = \frac{E_{eff}}{\sqrt{(R_s + R_{eq})^2 + (L_s \cdot \omega)^2}} \quad (III-14)$$

De l'équation (III.11), on aboutit à l'expression suivante :

$$P_{elec} = 3 R_{eq} \cdot I_{eff}^2 = 3 R_{eq} \frac{E_{eff}^2}{(R_s + R_{eq})^2 + (L_s \cdot \omega)^2} \quad (III-15)$$

Avec la force électromotrice :

$$E_{eff} = K_\phi \cdot \Omega = (p \cdot \psi_{eff}) \Omega \quad (III-16)$$

En injectant l'équation (III.9) dans celle de (III.12), on aura l'expression de la puissance électrique en fonction du rapport cyclique et de la fréquence de rotation :

$$P_{elec} = \frac{3(K\psi\omega)^2}{6\alpha} \left(\frac{(\psi\omega)^2}{\left[\frac{\pi^2}{18} R_{ch} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^2 + R_s \right]^2 + (L_s\omega)^2} \right) \quad (III-17)$$

A priori, on détermine le rapport cyclique optimal auquel la puissance électrique délivrée est maximale, on l'obtient lorsque la dérivée de cette puissance par rapport à alpha est nulle $\left(\frac{dP_{elec}}{d\alpha} = 0 \right)$.

Pour faciliter le calcul, on pose $B = R_{eq}$:

$$B = \frac{\pi^2}{18} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^2 R_{ch} \quad (III-18)$$

Ce qui implique que :

$$P_{elec} = 3B \frac{(K\psi\omega)^2}{(B+R_s)^2 + (L_s\omega)^2} \quad (III-19)$$

D'où :

$$\frac{dP_{elec}}{d\alpha} = -\frac{\pi^2}{3} (K\psi\omega) R_{ch} \left(\frac{1+\alpha-2\alpha^2}{\alpha^3} \right) \left(\frac{[(B+R_s)^2 + (L_s\omega)^2] - 2(B+R_s)B}{((B+R_s)^2 + (L_s\omega)^2)^2} \right) = 0 \quad (III-20)$$

Les solutions de cette équation sont :

Sachant que $0 < \alpha < 1$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 1 \\ \alpha = -\frac{1}{2} \end{array} \right\} \text{ Valeurs refusées}$$

(III-21)

À partir de la relation du rapport cyclique optimal (III-18) on construit l'algorithme de recherche du point optimal de puissance (MPPT). La figure (III-21) présente le schéma bloc de cette stratégie.

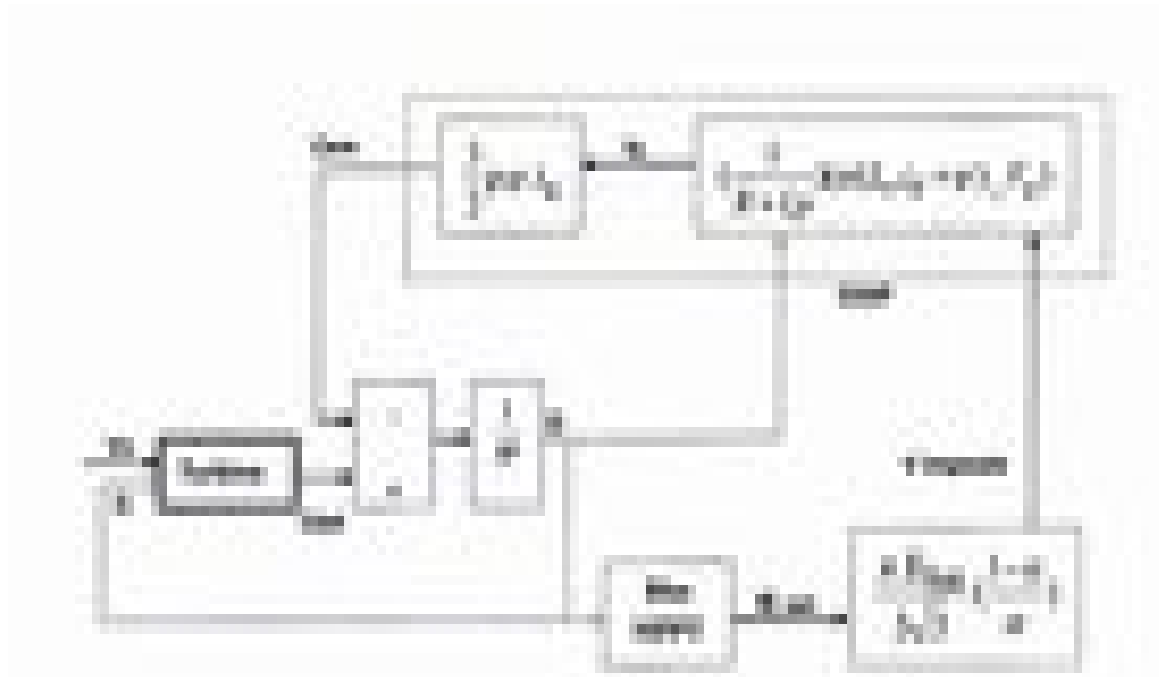


Figure III-29 : schéma bloc de la stratégie proposée.

La variation de la vitesse de rotation entraîne un changement du rapport cyclique optimal ce qui se traduit par un réajustement de la tension imposée au générateur. Par le biais de cette tension le couple électromagnétique sera contrôlé. Par suite, il sera comparé à celui de l'éolienne (qui est en fonction de la vitesse de vent) pour fournir une nouvelle vitesse optimale. Ainsi ce cycle se répète pour la recherche continue du point optimal de puissance.

III.2.2.2 Résultats de simulation de la chaîne :

A partir du schéma bloc, on implémente cette stratégie sous Matlab/Simulink pour le cycle de vent suivant :

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

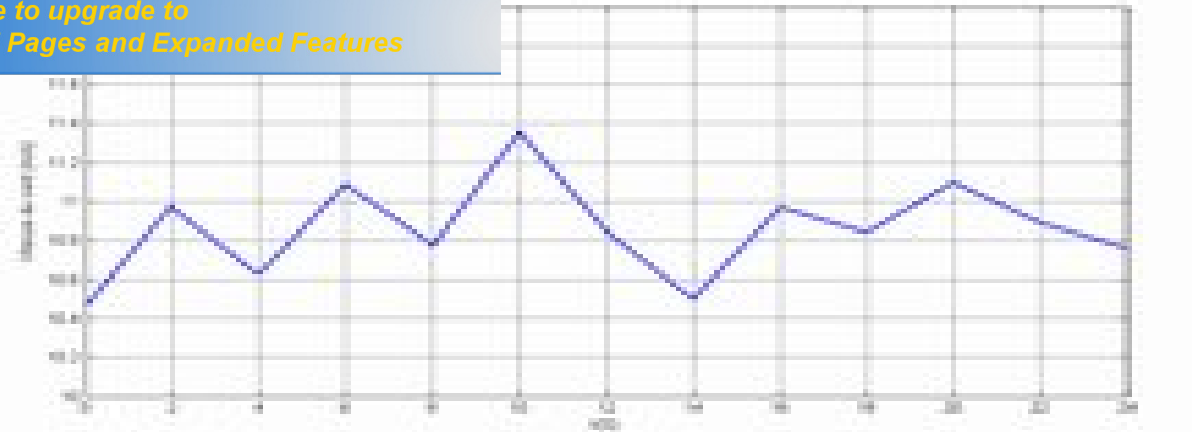


Figure III.30 : Profil de la vitesse du vent.

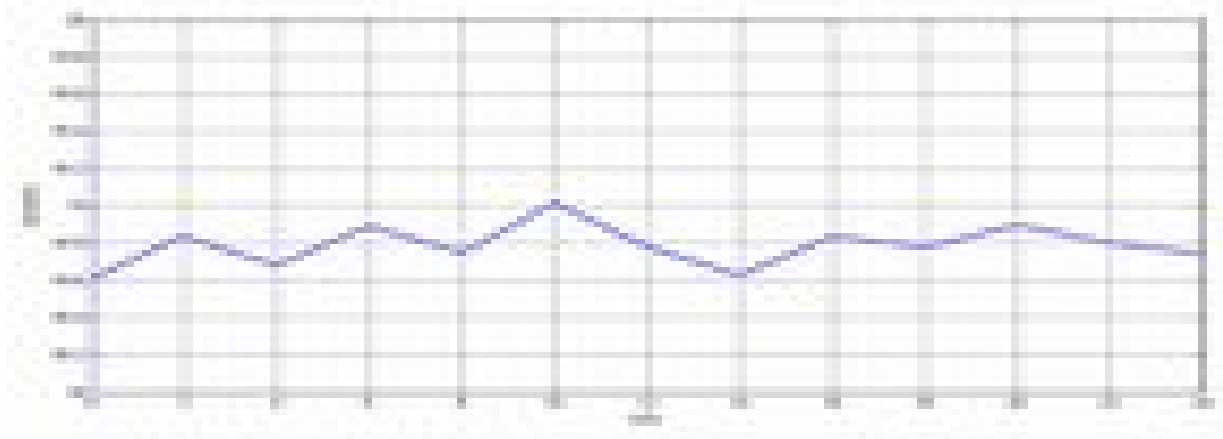


Figure III-31 : Allure de la vitesse de rotation de la génératrice.

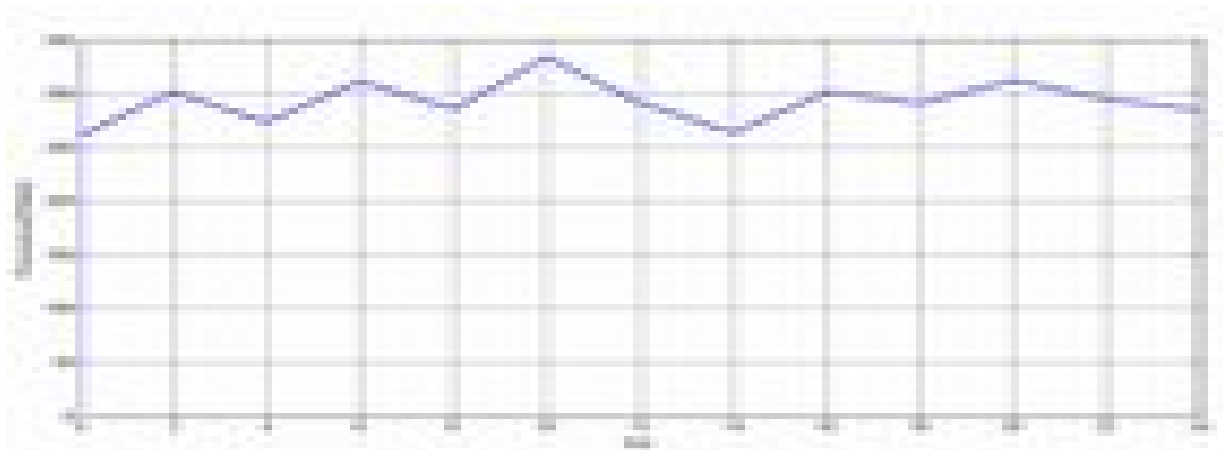


Figure III.32: Allure de la puissance mécanique de la turbine éolienne.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

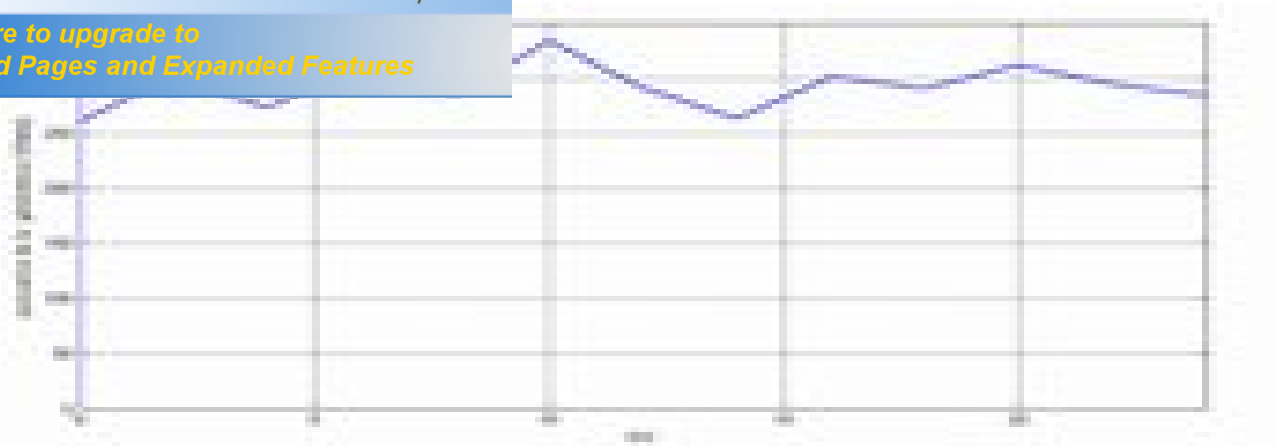


Figure III.33: Allure de la puissance électrique fournie par la génératrice.

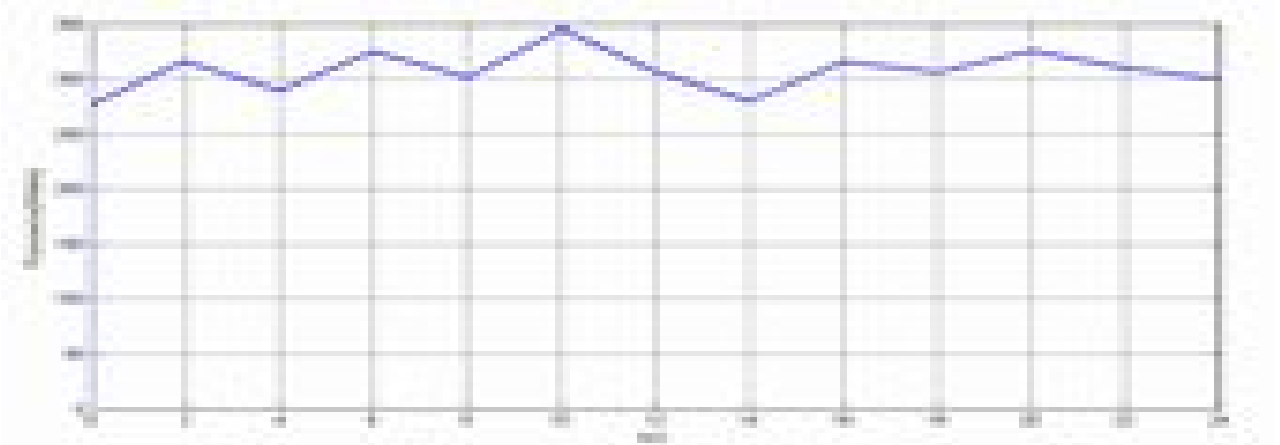


Figure III.34 : Allure de la puissance reçue par les batteries.

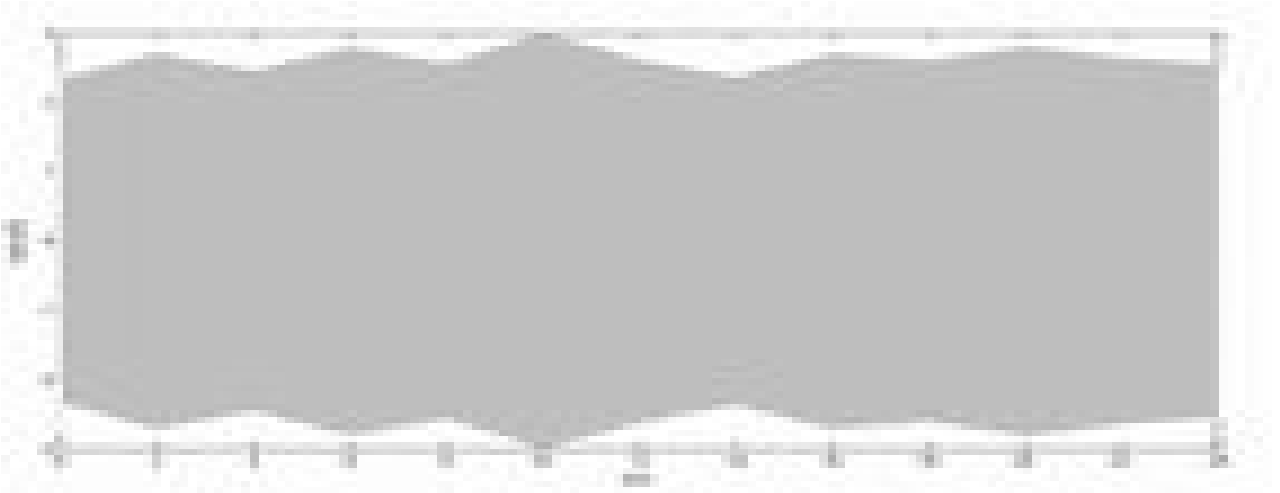


Figure III.35 : Allure des courants induits.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

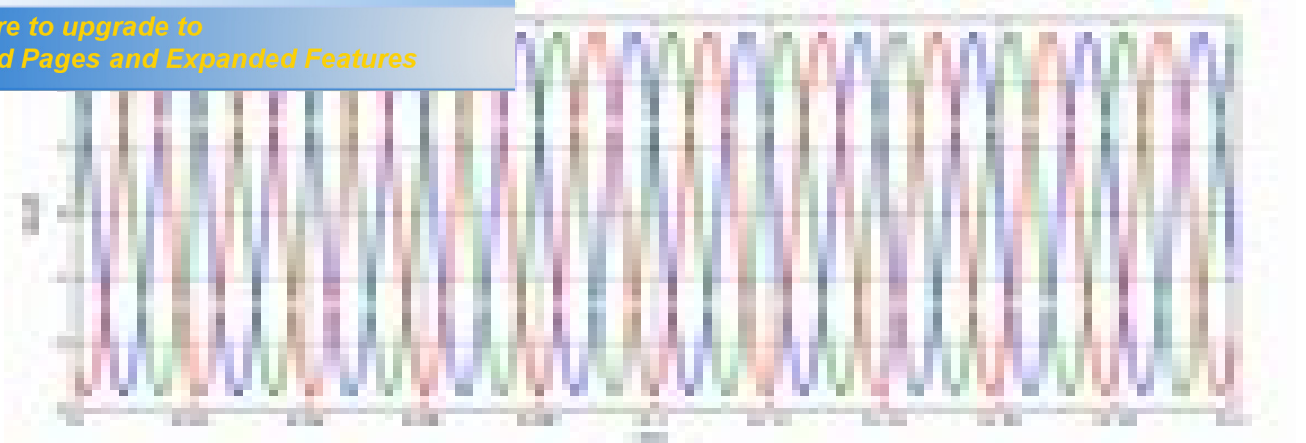


Figure III.36 : Zoome sur les courants induit.

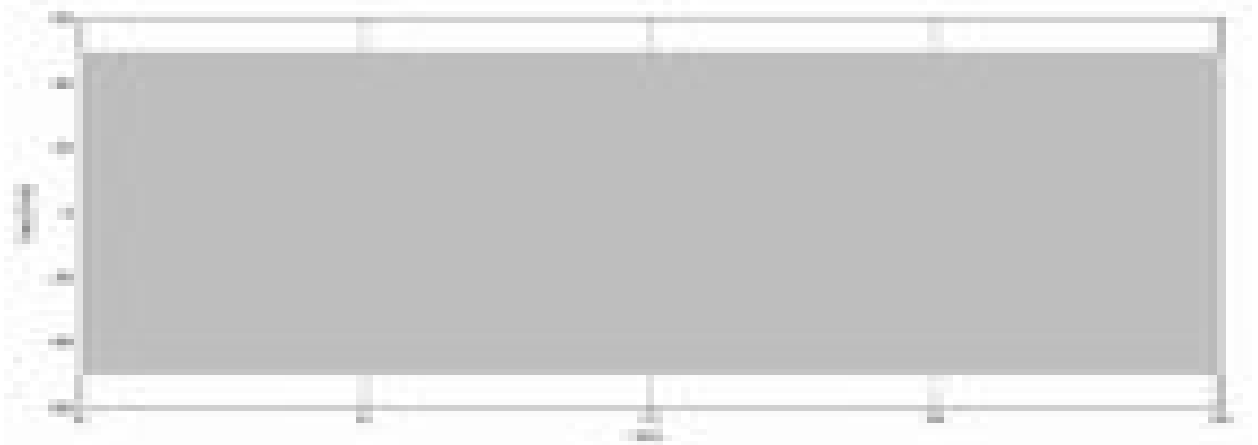


Figure III.37 : Allure des tensions induites.

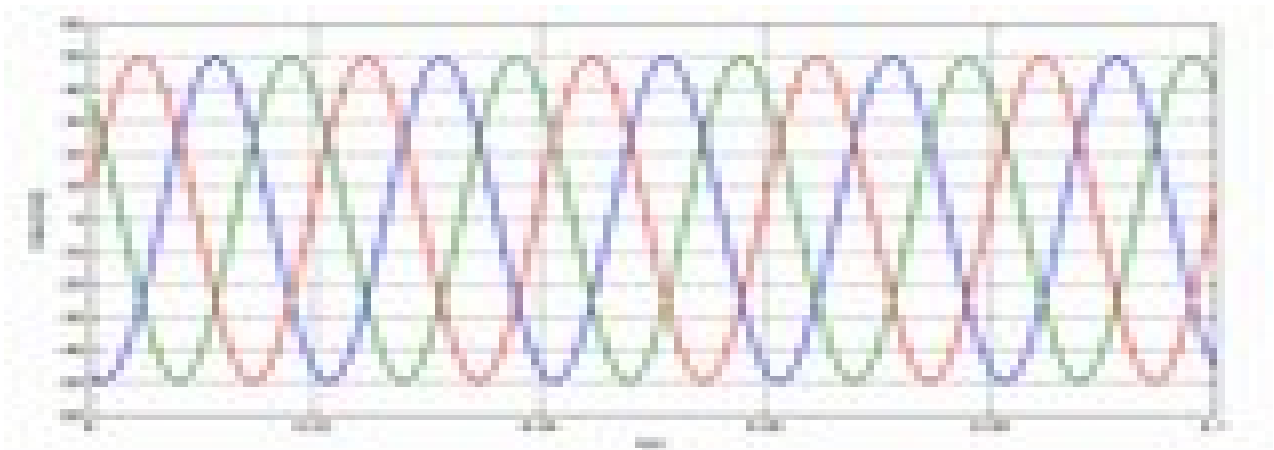


Figure III-38 : Zoome des tensions induites.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

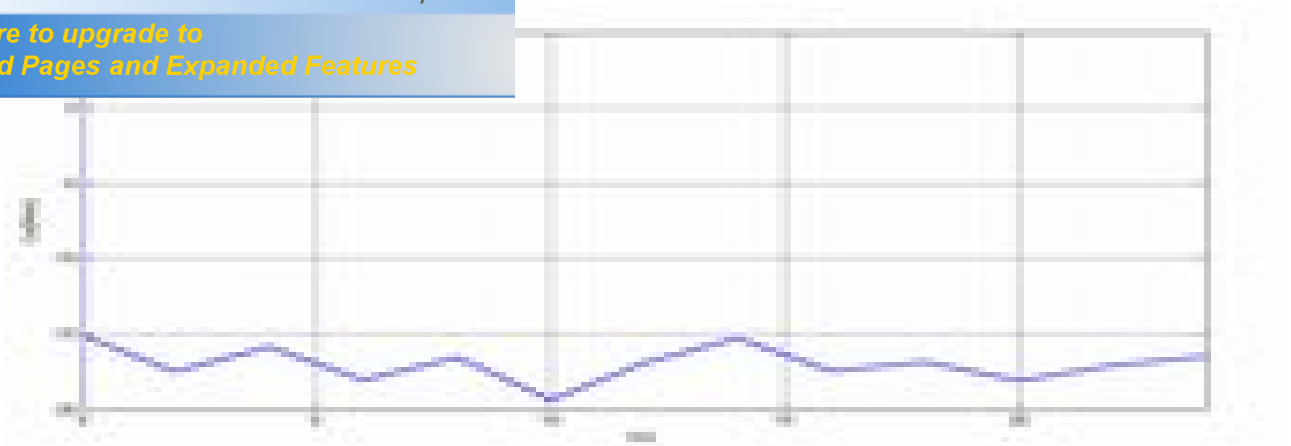


Figure III.39 : Allure du couple électromagnétique de la génératrice.

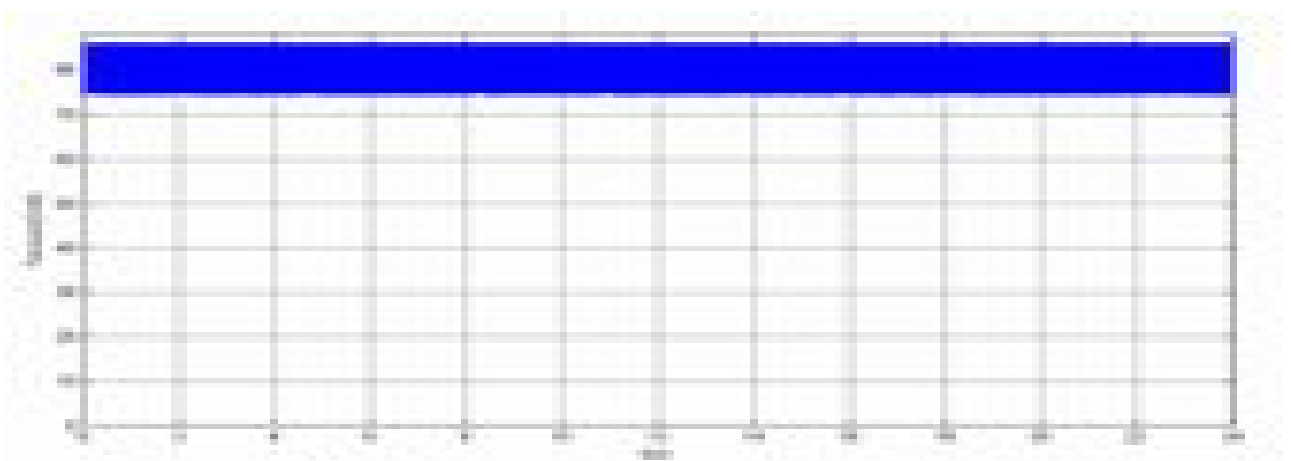


Figure III.40: Allure de la tension redressée.

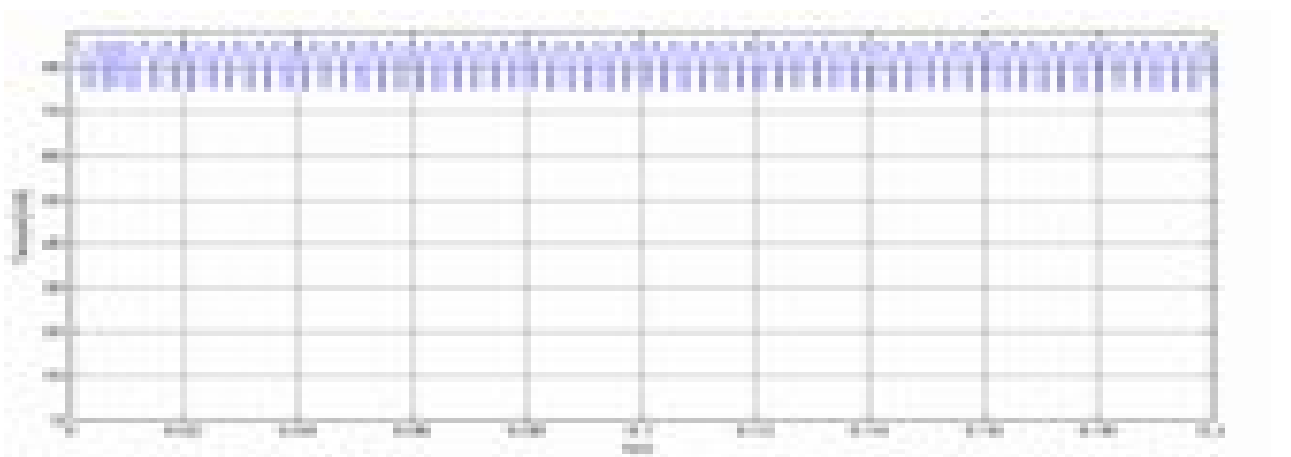


Figure III.41 : Zoome de la tension redressée.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

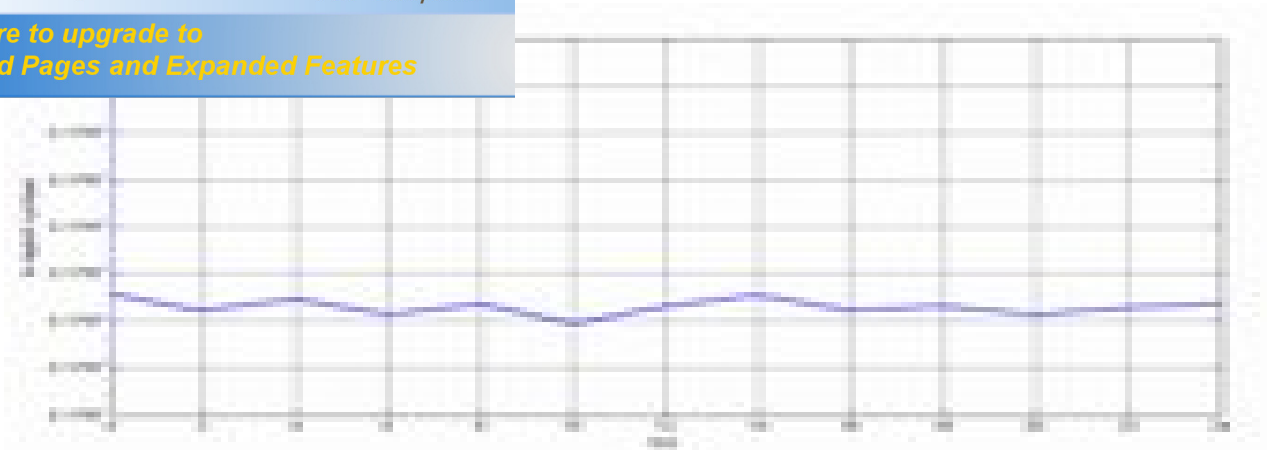


Figure III.42: Allure du rapport cyclique.

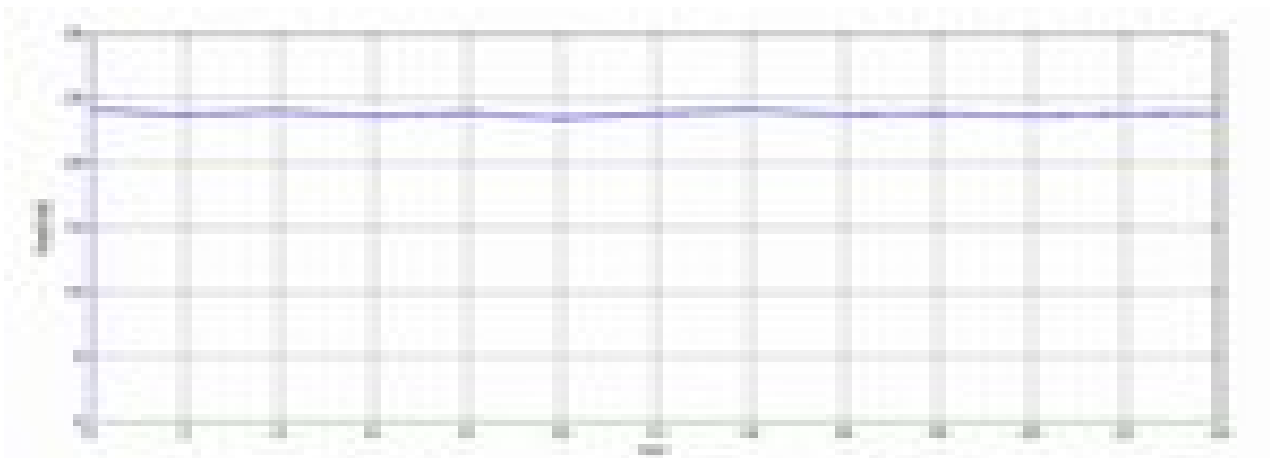


Figure III.43 : Allure de la tension Vdc.

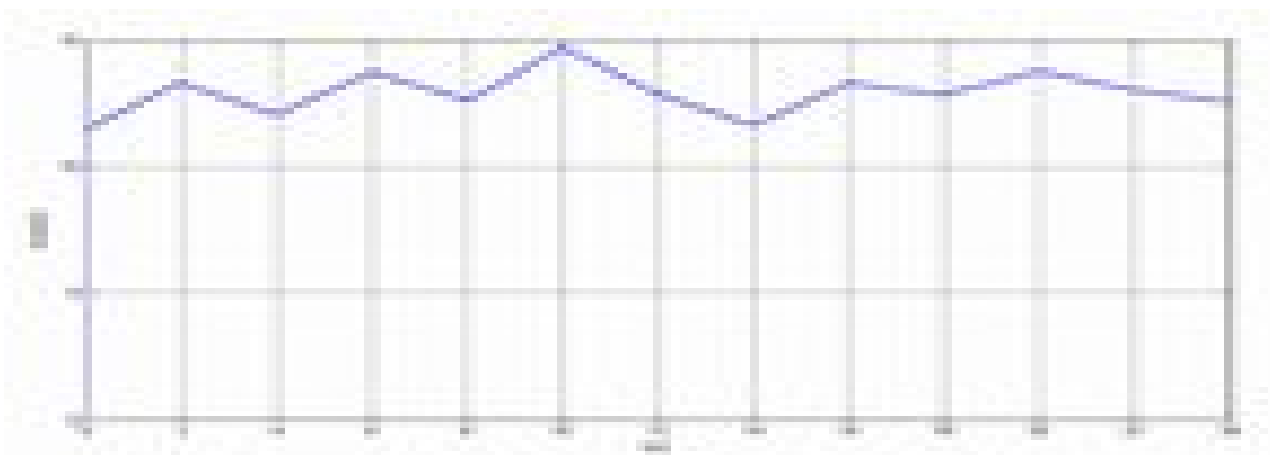


Figure III.44: Allure du courant reçu par les batteries.

La stratégie de fonctionnement est un algorithme qui permet au système de supervision d'un SEH de décider combien et quels générateurs il faut mettre en marche, quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage, si disponible [4] [15], on l'appelle aussi la gestion d'énergie [7]. La stratégie de fonctionnement choisi dans notre travail est la gestion du stockage (stockage à long terme).

Le stockage à long terme, est utilisé pour alimenter la charge sur une période de temps plus longue. Cette stratégie, permet d'améliorer l'équilibre énergétique et de réduire les cycles démarrage/arrêt des GD et donc, la consommation de carburant. Avec cette stratégie, le GD est arrêté jusqu'à ce que l'état de charge du système de stockage atteigne un niveau minimal. Une fois ce seuil atteint, le GD redémarre et reste en fonctionnement jusqu'à ce que l'état de charge du système de stockage atteigne un niveau maximal et le cycle se répète encore une fois et ainsi de suite.

III.3.1 Modélisation du gestionnaire d'énergie (système de supervision) :

Son rôle est de gérer et contrôler le fonctionnement du système d'énergie hybride, selon les conditions météorologiques (éclairage, vitesse de vent) et la puissance demandée. Le gestionnaire commande l'ouverture et la fermeture de trois relais selon les conditions suivantes :

- **Le relais du générateur PV :**

L'ouverture du relais de générateur PV se fait en présence des conditions suivante :

- Si les batteries sont chargées.
- Si le courant débité par le générateur PV est quasiment nul.
- Si la puissance de la charge est nulle.

- **Le relais du générateur éolien :**

L'ouverture du relais de générateur éolien se fait en présence des conditions suivantes :

- Si les batteries sont chargées.
- Si la vitesse du vent est inférieure à la vitesse d'amorçage de l'éolienne.
- Si la vitesse du vent est supérieure à la vitesse de décrochage de l'éolienne.
- Si la puissance de la charge est nulle.

- **Le relais du groupe électrogène:**

El se fait en présence des conditions suivantes :

- Si les générateurs (éolien et PV) débitent une puissance supérieure à la puissance de la charge.
- Si la puissance de la charge est nulle et les batteries sont chargées.

Et la fermeture de ce relais se fait quand l'état de charge des batteries atteint le niveau minimal.

A partir de ces conditions, on constate que notre système de supervision comporte 06 entrées, 03 sorties et 06 tests.

Les entrées :

- L'éclairement (E).
- Vitesse du vent (V_v).
- La puissance du générateur PV (P_{pv}).
- La puissance du générateur éolien ($P_{éol}$).
- La puissance de la charge (P_{ch}).
- Tension de la batterie (V_{bat}).

Les sorties :

- (T_{pv}): Le signal de commande du relais de générateur PV.
- ($T_{éol}$): Le signal de commande du relais de générateur éolien .
- (T_{groupe}): Le signal de commande du relais de groupe électrogène .

Les tests :

- $P_{pv} = 0$ ou $E = 0 \Leftrightarrow (A)$.
- la vitesse d'amorçage de l'éolienne $< V_v <$ la vitesse de décrochage de l'éolienne $\Leftrightarrow (B)$.
- $P_{ch} = 0 \Leftrightarrow (C)$.
- $P_{pv} + P_{éol} \geq P_{ch} \Leftrightarrow (D)$.
- $V_{bat} \leq V_{min} \Leftrightarrow (E)$.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

F).

À partir du nombre de test, on a déterminé le nombre de combinaisons possibles qu'on a calculé à l'aide de la relation suivante [32] :

$$X = 2^n$$

Où :

X : nombre de combinaison possibles.

n : nombre d'entrée.

Le tableau (voir annexe) résume les 64 combinaisons :

D'après le tableau on constate que le nombre de combinaison possible se réduit à 36, à partir de la on détermine les équations logiques qui nous donnent les signaux de commande des relais de chaque source :

$$T_{pv} = (E\bar{F} + \bar{E}F)(\bar{A}D + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}EF) \quad (III-22)$$

$$T_{éol} = (E\bar{F} + \bar{E}F)(\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}EF) \quad (III-23)$$

$$T_{group} = E\bar{F}\bar{D}(AB + A\bar{B}\bar{C} + \bar{A}B\bar{C}) \quad (III-24)$$

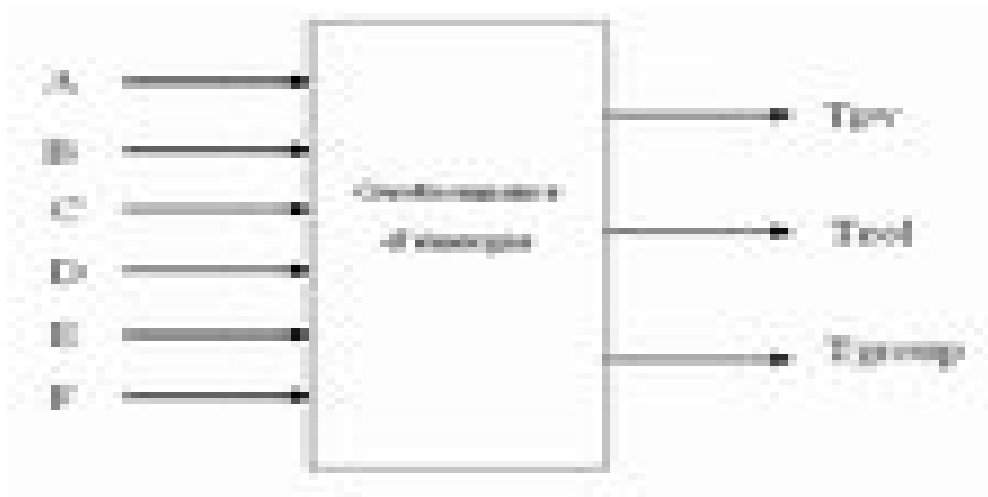


Figure III.45: Schéma bloc du gestionnaire d'énergie.

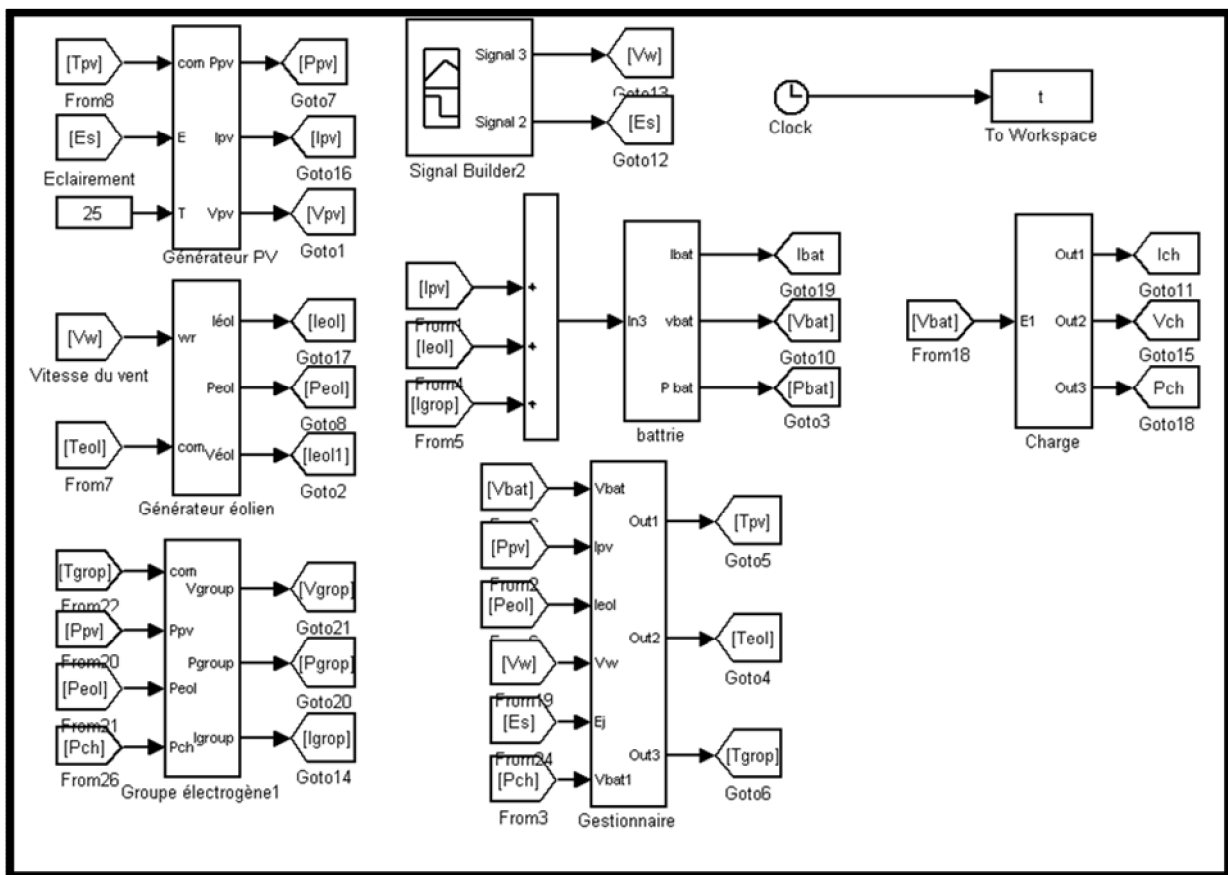
III.3.2 Simulation du système complet :

énergie hybride (éolienne- photovoltaïque- groupe simulation de la figure (II.19) sous le logiciel Matlab-

Simulink.et pour les dimensions de chaque source est comme suivant (existant au laboratoire):

- Le générateur PV : P=400W
- Le générateur éolienne : P=600W
- Le groupe électrogène : P=5KVA
- La batterie : E=92Ah.
- Charge 600 W (supposée constante)

On a introduit à notre système une référence d'éclairement et une référence de vitesse du vent (figure III-47), et on a relevé la tension de la batterie et les signaux de commande générés par le gestionnaire d'énergie des trois sources (figure III-48), ainsi que les puissances délivrées par chaque source (figures III-49). On remarque d'après ces résultats que la somme des puissances générées par chaque source égale à la puissance de la charge.



du système hybride étudié sous MATLAB.

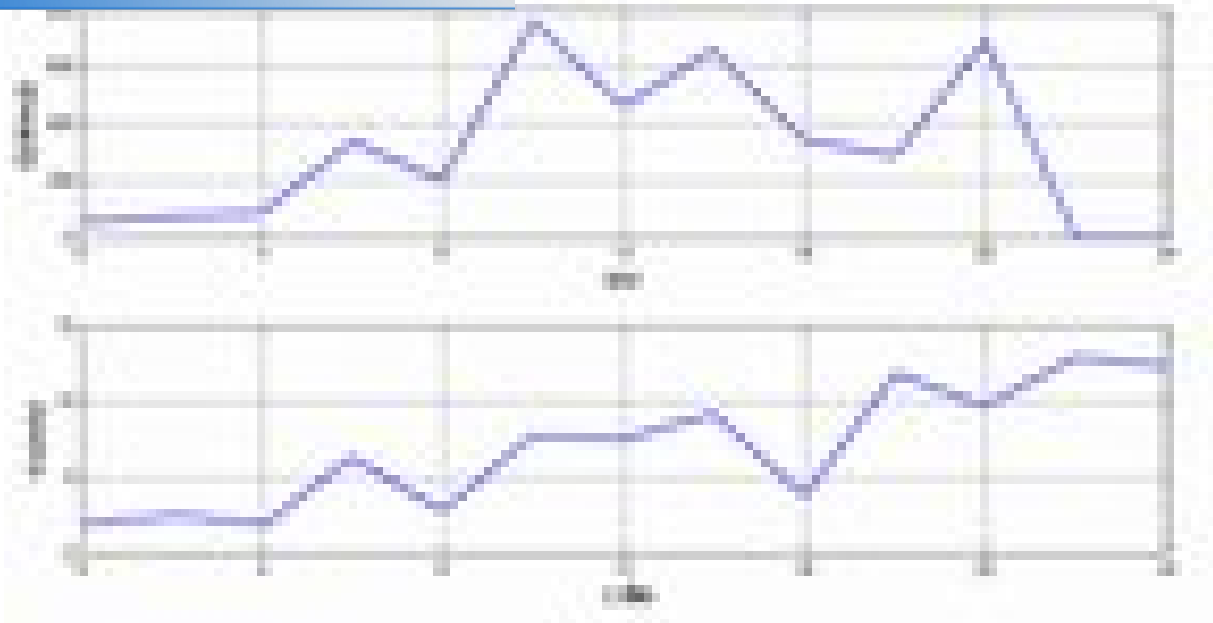


Figure III.47 : Profil de l'éclairement et de la vitesse du vent pris comme référence.

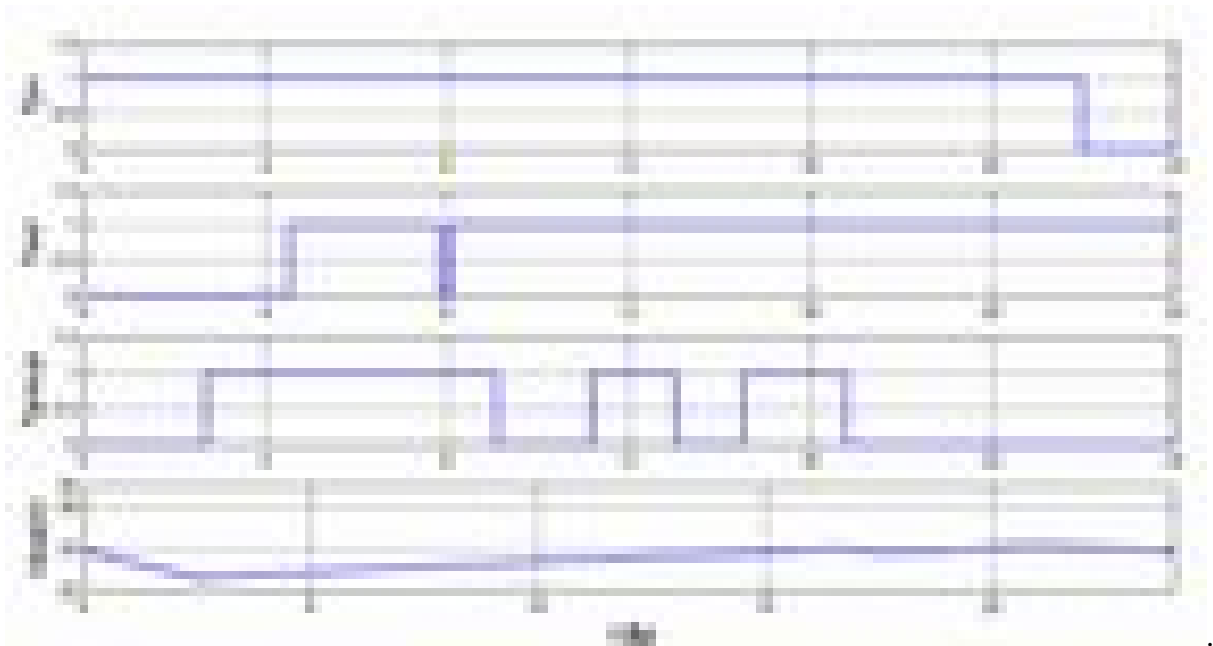


Figure III.48 : Les signaux de commande des relais des générateurs PV, éolien, groupe électrogène et tension des batteries.

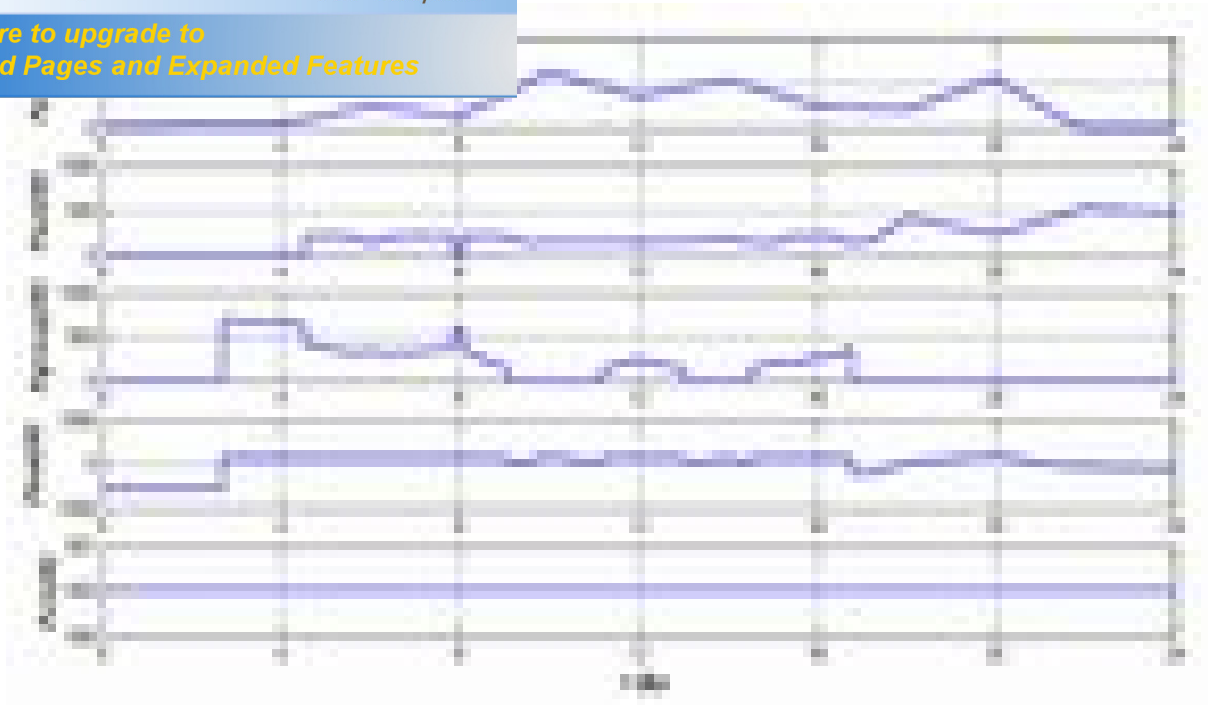


Figure III.49 : Allure de puissance de différentes sources du système d'énergie hybride.

Conclusion :

Dans ce chapitre, la tension V_{dc} est contrôlée on appliquant la commande MPPT sur le générateur photovoltaïque et sur la chaîne de conversion éolienne, comme on a appliqué la commande vectorielle sur la chaîne de conversion éolienne. Et on a développé un modèle mathématique du gestionnaire de système complet.

Les blocs de simulation développés dans ce chapitre nous permettent dans le chapitre suivant la simulation du système d'énergie hybride après le dimensionnement de ses différentes parties.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CHAPITRE IV

*Dimensionnement et simulation De Système
D'énergie hybride*

L'efficacité de toute installation électrique dépend fondamentalement de la rigueur de son dimensionnement et de son utilisation, dans le cas du système hybride de production d'énergie électrique étudiée, la maîtrise du dimensionnement de ses différents constituants est nécessaire car il influe directement sur le coût, les performances et la pérennité de notre installation.

Aussi, étant donné la nature aléatoire de la source solaire et de la vitesse du vent, et afin de garantir la fourniture d'énergie électrique durant les périodes nocturnes et de beau temps, il est nécessaire d'optimiser le calcul de la taille de nos générateurs, photovoltaïque, éolienne et diesel, de la capacité de la batterie d'accumulateurs.

Il est utile de noter que ce dimensionnement devrait être fait sur des données météorologiques (l'irradiation solaire et la vitesse du vent), ainsi que sur le profil de charge exacte des consommateurs sur de longues périodes.

IV.1 Détermination du profil de charge :

La connaissance exacte du profil de charge de nos consommateurs facilitera la détermination de la taille de nos générateurs. Nous rappelons que notre système hybride est prévu pour l'alimentation électrique d'un site isolé.

L'étude du bilan énergétique a pour l'égalité :

$$\text{Energie générée} = \text{Energie consommée}$$

Dans notre étude nous avons choisi une maison type non raccordé au réseau de distribution d'énergie classique et équipée de l'ensemble des appareils électroménagers permettant de fournir le confort aux occupants. Par ailleurs dans notre cas nous supposons que l'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année et que les équipements domestiques fonctionnent sous une tension standard 220V-50Hz (tension secteur). Concernant, l'heure du lever et du coucher de la famille est supposée respectivement à 6h00 et à 23h00.

ne consommée sur notre site par les différents
ge, est dressée sur le tableau suivant on suppose dans

la suite de chapitre que cette énergie est constante :

Charges		Nombre de charges	Puissance nominale (W)	Heures d'utilisation (h)		Consommation (Wh/j)	
				Jour	Nuit	Jour	Nuit
Lampe fluorescente	Cuisine	01	40	—	03	—	120
	Salle de séjour	02	40	—	03	—	240
Lampe à incandescence	Chambre 1	01	60	—	02	—	120
	Chambre 2	01	60	—	02	—	120
	Toilette douche	03	40	—	01	—	120
Téléviseur	—	01	80	03	03	240	240
Radio	—	01	40	02	02	80	80
Réfrigérateur	—	01	280	06	05	1680	1400
Divers	—		90	02	01	180	90
Consommation total	—	—	730	13	24	2180	2530
Total						= 4710Wh/j	

Tableau VI.1 : Demande journalière d'énergie pour un foyer isolé à Bejaia.

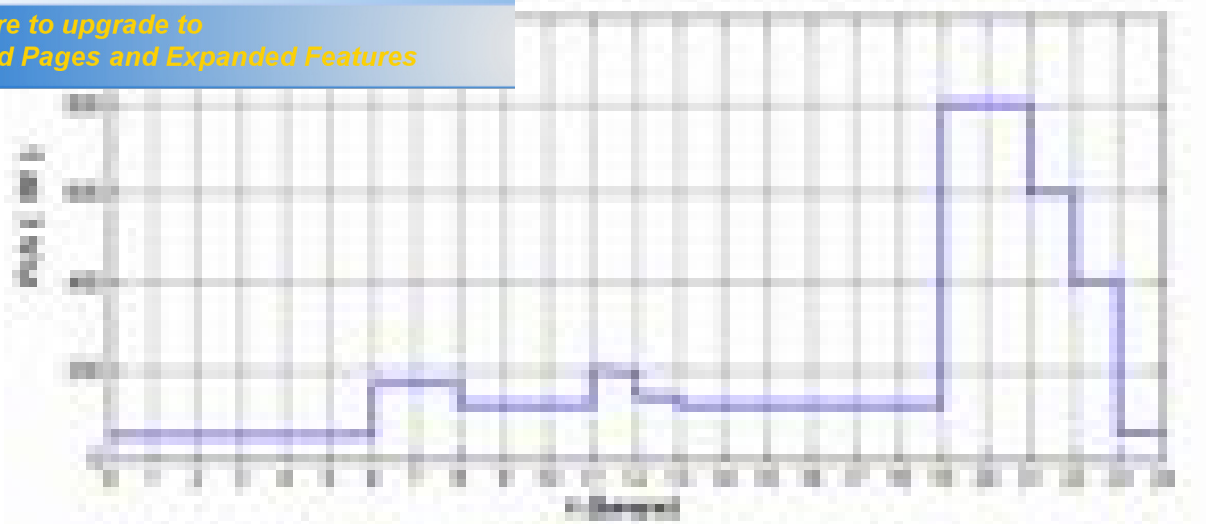


Figure IV.1 : Profil de puissance demandé par la charge (foyer isolé) sur une journée utilisé dans notre étude.

IV.2 Analyse du potentiel énergétique solaire et éolien disponible à Bejaia :

IV.2.1 Les données météorologiques

Les données météorologiques dépendent du site choisi à implanter le système. Dans notre étude, nous avons choisi un système éolien- photovoltaïque associés à un groupe diesel de secours, donc la connaissance et l'estimation des deux sources d'énergies (soleil et vent) doivent être faites. Afin de se rapprocher d'un modèle réel, nous avons choisi un site qui possède un potentiel des deux sources d'énergies renouvelables qui ne peut être que favorable à l'implantation d'un système hybride.

Ces deux sources (soleil et vent) sont complémentaires, les jours ensoleillés sont habituellement avec des vents calmes et les vents forts sont souvent accompagnés de nuage ou sont produits le soir. Une centrale hybride a la plus haute disponibilité que l'une ou l'autre source individuelle et donc a besoin de moins de stockage. (Figure IV.2) montre la complémentarité des deux sources d'énergies dans la région de Bejaia.

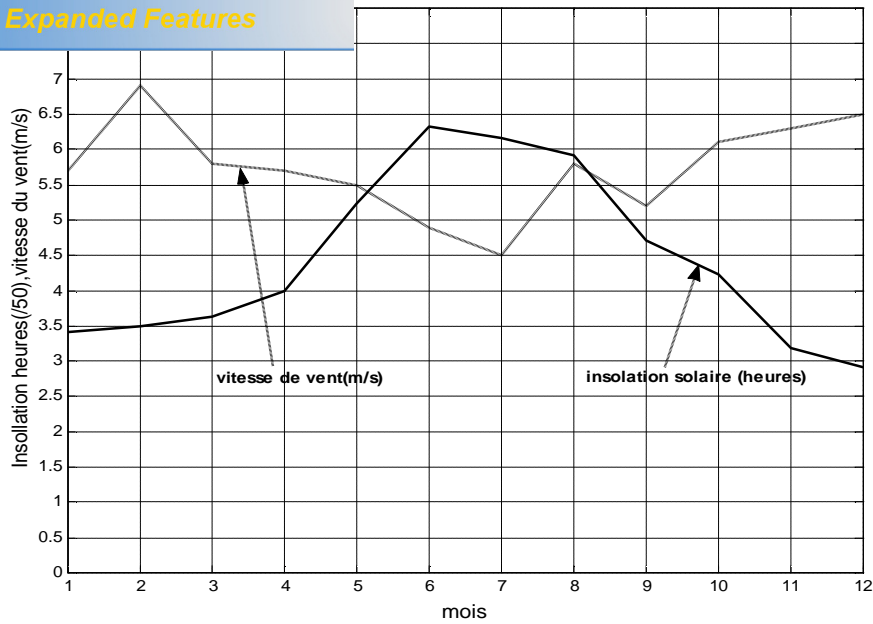


Figure IV.2 : La vitesse du vent et l'insolation solaire en 2007 à Bejaia.

IV.2.2 Estimation de la vitesse du vent et de l'irradiation solaire pour la région de Bejaia :

IV.2.2.1 Variation de la vitesse du vent à Bejaia :

Nous avons procuré au service météorologique de Bejaia un fichier complet de données de la vitesse du vent enregistrées chaque mois à la station météorologique de Bejaia de 1998 à 2007. Nous pouvons voir ci-dessous l'évolution de la vitesse du vent sur une année (figure III.1 - a) ainsi que la vitesse moyenne annuelle sur les dix années (figure IV.3).

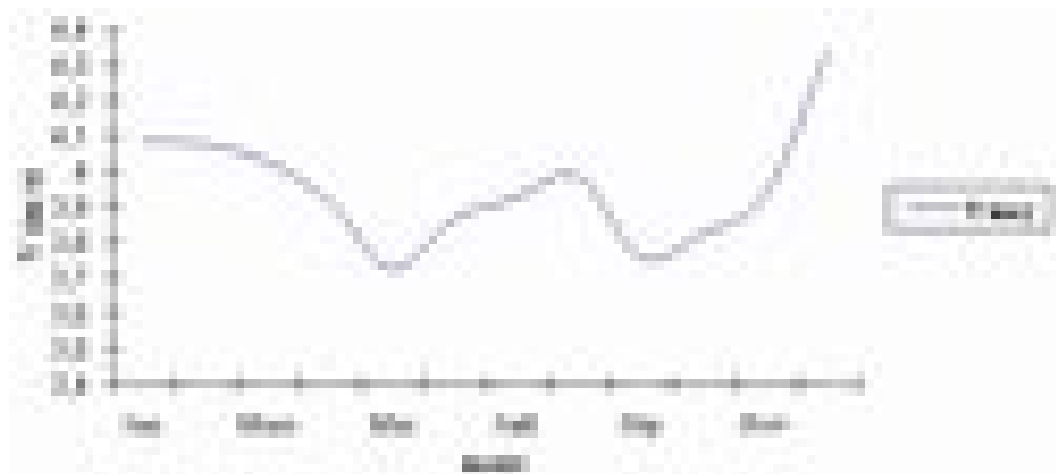


Figure IV.3 : Evaluation de la vitesse du vent moyenne mensuelle à Bejaia (1998/2007).

es ont une vitesse de démarrage $V_{seuil} = 3.5$ m/s, on

constate, sur ces figures, que l'exploitation de l'énergie éolienne est favorable pour un site à Bejaia, car les moyennes mensuelles du vent restent supérieurs à la vitesse seuil.

IV.2.2.2 Les données d'insolation pour la région de Bejaia :

Pour déterminer le nombre de modules photovoltaïques et la capacité de stockage des batteries, il est nécessaire de connaître le flux global d'irradiation solaire reçu quotidiennement à Bejaia. Au niveau de la station météorologique de Bejaia, aucune mesure de ce paramètre n'a été effectuée jusqu'à présent, mais il existe un fichier assez riche de données d'insolation établi sur une longue période. Ces relevés sont effectués à l'aide d'un héliographe de Campbell stockés de 1998 à 2007. L'insolation mesurée à l'aide de cet appareil, exprime la durée en heures et en dixièmes d'heures. Pendant laquelle l'éclairement solaire a été supérieur ou égal à 120W/m^2 .

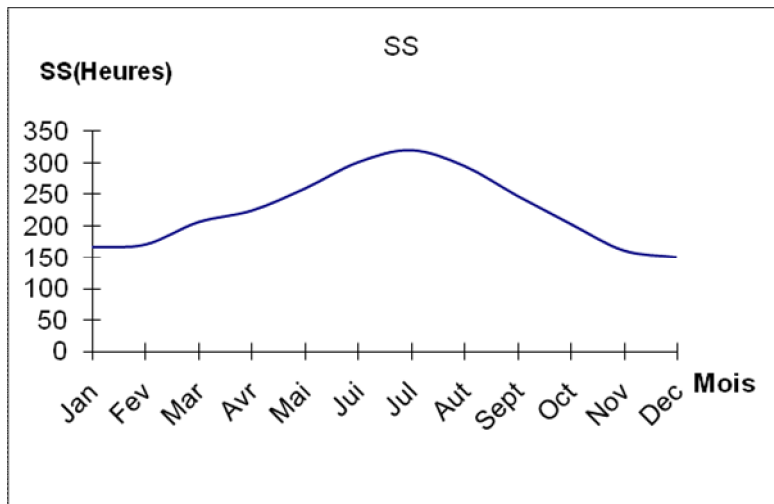


Figure IV.4 : Insolation moyenne mensuelle pour la période 1998/2007 heures.

IV.3 Estimation du flux global d'irradiation solaire sur le plan horizontal :

A partir des données d'insolation, le flux global d'irradiation solaire peut être estimé selon le modèle d'Angström [33].

Le flux global d'irradiation solaire peut être estimé comme suit :

(IV-1)

H : est le flux d'irradiation solaire reçu quotidiennement au niveau de la surface terrestre sur un plan horizontal.

σ : Le taux d'insolation.

Où :

$$\sigma = SS/SS_0 \quad (IV-2)$$

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{sc} (1 + 0.033 \cos 2\pi \frac{n}{365}) (\cos \psi \cos \delta \cos \omega_s + \sin \psi \sin \delta) [34] \quad (IV-3)$$

SS_0 : La durée maximale d'ensoleillement (du lever au coucher de soleil) elle est calculée par l'expression suivante [35] :

$$SS_0 = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \psi \tan \delta) \quad (IV-4)$$

SS : est la valeur journalière de l'insolation (durée effective d'ensoleillement).

H_0 : est la valeur correspondante du flux global d'irradiation solaire obtenue hors atmosphère.

G_{sc} : La constante solaire, ($G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$).

n : Le numéro de jour de l'année ($n=1$ pour le premier janvier, i etc.)

ψ : L'attitude du lieu (pour Bejaia $\psi = 36.73^\circ$).

δ : La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. Sa valeur en degrés est donnée par l'équation de Cooper [36]:

$$\delta = 23.5 \sin(2\pi \frac{284+n}{365}) \quad (IV-5)$$

ω_s : L'angle horaire.

a et b sont les coefficients de régression.

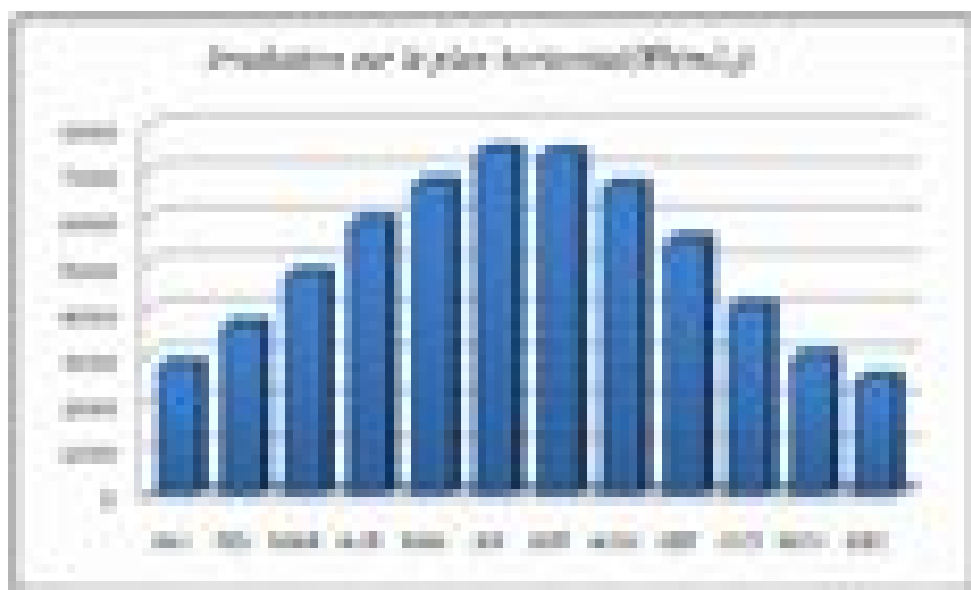
sion pour la région de Bejaia sont données par la

- $a=0.36,$
- $b=0.40,$

On se basant sur les données mesurées durant les années 1998 à 2007 par la station météo de Bejaia, on obtient :

	$SS(h)$	$SS_0(h)$	n	σ	$\delta(^{\circ})$	H_0 (Wh/m2.j)	H (Wh/m2.j)
JAV	5.3581	9.7906	17	0.5473	-20.9170	4787	2857.8
FEV	5.8724	10.6822	47	0.5497	-12.9546	6221	3719.3
MAR	6.6419	11.7593	75	0.5648	-2.4177	8027	4843.1
AVR	7.4667	12.9477	105	0.5767	9.4149	9846	5982.5
MAI	8.3516	13.9612	135	0.5982	18.7919	11077	6816.2
JUI	10.0200	14.4728	162	0.6923	23.0859	11558	7504
JUIL	10.3161	14.2412	198	0.7244	21.1837	11295	7463.4
AUT	9.5097	13.3712	228	0.7112	13.4550	10299	6756.2
SEP	8.2467	12.2207	258	0.6748	2.2169	8667	5572.2
OCT	6.5452	11.0333	288	0.5932	-9.5994	6738	4133.9
NOV	5.3600	10.0250	318	0.5347	-18.9120	5116	3031
DEC	4.8290	9.5317	344	0.5066	-23.0496	4387	2555.1

Tableau IV.2 : Les valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface horizontale à Bejaia (1998-2007).



journalière mensuelle sur une surface horizontale estimée pour la période 1998/2007.

IV.4 Estimation du flux global d'irradiation solaire sur le plan incliné :

Les panneaux solaires peuvent être installés au sol ou sur la toiture orientés vers le sud et à l'écart des zones ombragées. Ils devraient présenter un angle de telle sorte que la surface de captation soit perpendiculaire au rayonnement solaire.

Pour la conception des systèmes solaires, nous avons besoin de la moyenne journalière mensuelle de l'irradiation incidente sur un plan du capteur H_T . En utilisant le modèle de LIU et JORDAN, le calcul de H_T est donné par l'équation suivante [37]:

$$H_T = H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H_r \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (IV-6)$$

Avec :

R_b : Facteur de conversion donné par :

$$R_b = \frac{\cos(\psi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_s + \omega'_s \cdot \sin(\psi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \omega_s \cdot \sin \psi \cdot \sin \delta} \quad (IV-7)$$

H_d : La composante diffuse.

A partir des moyennes mensuelles de l'irradiation journalière globale, on estime l'irradiation diffuse journalière moyenne H_d par la corrélation de Beeckman :

$$\frac{H_d}{H} = a + b \cdot K_T \quad (IV-8)$$

Avec :

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (IV-9)$$

H_b : La composante directe

$$H_b = H - H_d \tag{IV-10}$$

ρ : L'albédo au sol [39] : pour la région de Bejaia $\rho=0.22$

β : L'angle d'inclinaison

ω_s : L'angle horaire du coucher de soleil sur le plan horizontal [35]

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \psi . \tan \delta) \tag{IV-11}$$

ω'_s : L'angle horaire du coucher de soleil sur le plan incliné [37]

$$\omega'_s = \text{Min}[\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\psi - \beta) . \tan \delta)] \tag{IV-12}$$

Les valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation globale incidente sur un plan incliné sont présentées sur la figure ci-dessous pour $\rho=0.22$, $\psi = 36.73$ (la latitude géographique du lieu)

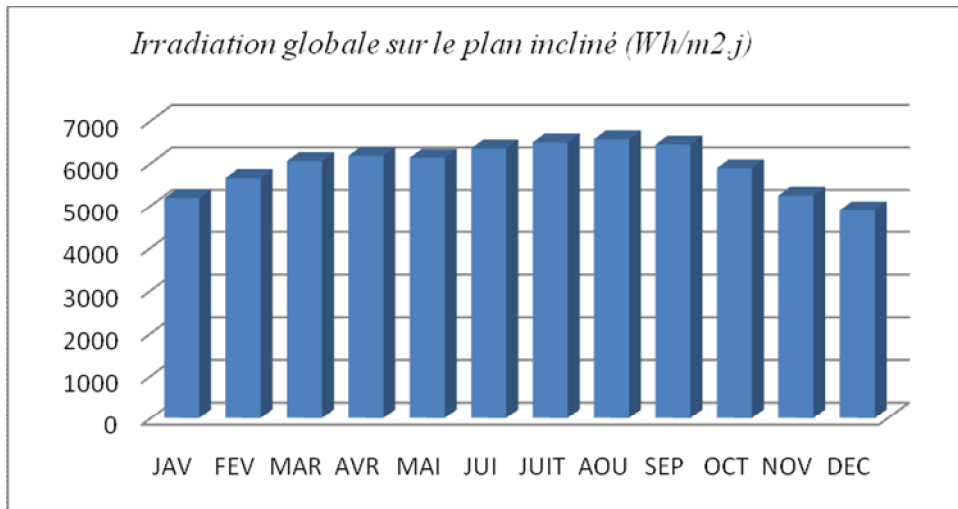


Figure IV.6 : L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée estimée à Bejaia pour la période 1998/2007.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

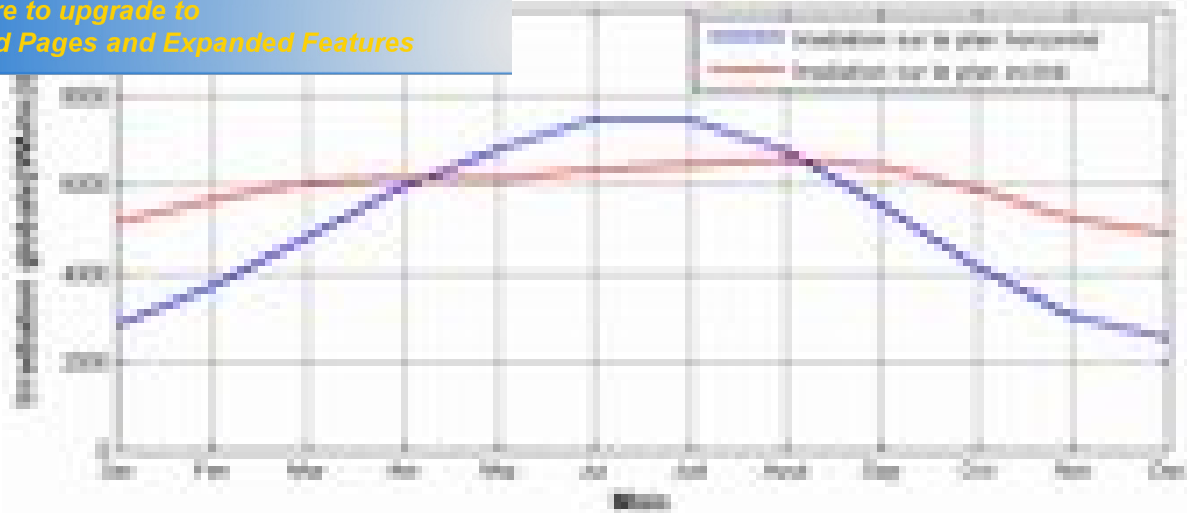


Figure IV.7: Irradiation globale moyenne mensuelle journalière du site de Bejaia.

IV.5 Caractéristiques des énergies photovoltaïque et éolienne :

IV.5.1 Générateur photovoltaïque

L'énergie produite par un générateur photovoltaïque est estimée à partir des données de l'irradiation globale sur plan incliné, de la température ambiante et des données du constructeur pour le module photovoltaïque utilisé.

L'énergie électrique produite par un générateur photovoltaïque est donnée par [39]:

$$E = \eta_{gen} \cdot A_c \cdot P_f \cdot G_{in} \quad (IV-13)$$

Où

A_c : représente la surface totale du générateur photovoltaïque (m^2);

η_{gen} : Le rendement du générateur photovoltaïque ;

G_{in} : L'irradiation solaire sur plan incliné (kWh/m^2).

Le rendement du générateur photovoltaïque est représenté par l'équation suivante:

$$\eta_{gen} = \eta_r \{1 - \gamma (T_c - 25)\} \quad (IV-14)$$

$$T_c = T_a + G_{in} \left(\frac{NOCT-20}{800} \right) \quad (IV-15)$$

variation du rendement du module photovoltaïque en

fonction de la température, qui est pris à $(0.0045 / ^\circ\text{C})$; η_r est le rendement de référence du générateur photovoltaïque; T_a la température ambiante moyenne journalière; T_c la température cellule moyenne journalière ($^\circ\text{C}$); $NOCT$ est la température nominale de fonctionnement de la cellule et P_f qui est le facteur de remplissage du module, égal à 0.9.

IV.5.2 Générateur éolien :

La puissance contenue sous forme d'énergie cinétique, P , dans le vent est exprimée

par:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V_v^3 \quad (\text{IV-16})$$

Avec:

A : est la surface traversée par le vent (m^2); ρ est la densité de l'air ($\rho = 1.225\text{kg/m}^3$) et V_v la vitesse du vent (m/s).

Le générateur éolien ne peut récupérer qu'une partie de cette puissance de vent et qui représente la puissance produite par le générateur éolien:

$$P_{\text{eol}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_e \cdot A \cdot V_v^3 \quad (\text{IV-17})$$

C_e : Est le facteur d'efficacité, qui dépend de la vitesse du vent et de l'architecture du système [40]. Il est déterminé à partir des performances de l'unité de transformation.

$$C_e = C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (\text{IV-18})$$

respectivement du multiplicateur et de la génératrice.

C_p est le coefficient de performance de la turbine éolienne. Il ne peut théoriquement pas dépasser une limite dite limite de Betz ($C_p - limite = 0.593$).

Dans cette étude, on prend $C_e = 0.45$.

Par conséquent, l'énergie produite par le générateur éolien est exprimée par:

$$E_{eol} = P_{eol} \cdot \Delta t \tag{IV-19}$$

IV.6 Dimensionnement du système hybride :

Dans cette étude de dimensionnement et d'optimisation, on va utiliser une méthode basée sur la moyenne mensuelle annuelle de l'énergie totale incidente [41].

L'énergie mensuelle produite par le système par unité de surface est notée $E_{pv,m}$ (kWh/m^2) pour le photovoltaïque et $E_{eol,m}$ (kWh/m^2) pour l'éolien (où $m = 1, \dots, 12$, représente le mois de l'année). Le mois le plus défavorable est fonction de la charge mensuelle, des ressources climatiques et des performances des composants du système. La surface du générateur nécessaire pour assurer la couverture totale (100 %) de la charge ($E_{L,m}$) durant le mois le plus défavorable est exprimée par:

$$A_i = Max \left(\frac{E_{L,m}}{E_{i,m}} \right) \tag{IV-20}$$

Avec $i = pv$ pour le générateur photovoltaïque et $i = eol$ pour le générateur éolien.

Dans un système hybride photovoltaïque/éolien, le terme de l'énergie totale produite est assez indéfini dans le sens où la contribution de chacune de ces parties n'est pas déterminée.

L'énergie totale produite par les deux générateurs photovoltaïque et éolien qui alimentent la charge est exprimée par:

(IV-21)

Avec :

$$E_{pv} \cdot A_{pv} = f \cdot E_L \quad (IV-22)$$

$$E_{sol} \cdot A_{sol} = (1 - f) \cdot E_L \quad (IV-23)$$

Où f représente la fraction de la charge alimentée par la source photovoltaïque et $(1 - f)$ celle alimentée par la source éolienne. La valeur limite $f = 1$ indique que la totalité de la charge est alimentée par la source photovoltaïque, quant à $f = 0$ correspond à une alimentation 100 % éolienne.

Dans cette méthode, la taille des générateurs photovoltaïques et éoliens est tirée des valeurs moyennes annuelles de chaque contribution nommée $\overline{E_{pv}}$, $\overline{E_{sol}}$ (pour un mois). De la même manière, la charge est représentée par la valeur moyenne mensuelle annuelle. Par conséquent, les surfaces des deux générateurs photovoltaïque et éolien sont données par:

$$A_{pv} = f \cdot \frac{\overline{E_L}}{\overline{E_{pv}}} \quad (IV-24)$$

$$A_{sol} = (1 - f) \cdot \frac{\overline{E_L}}{\overline{E_{sol}}} \quad (IV-25)$$

Economiquement, la taille réelle retenue pour chaque générateur est particulièrement importante pour les systèmes de petite échelle car elle peut être différente de celle (théorique) qui est déterminée dans les équations précédemment mentionnées. La taille (surface) réelle est calculée selon la surface de l'unité du composant $S_{pv,u} = 0.646 \text{ m}^2$ et $S_{sol,u} = 3.14 \text{ m}^2$ (panneaux photovoltaïques et éolienne existant au laboratoire d'électrotechnique).

$$A_{i,r} = ENT \left(\frac{A_i}{A_{i,u}} \right) \cdot A_{i,u} \quad (IV-26)$$

leur entière du rapport, prise par excès.

IV.6.1 Dimensionnement du générateur photovoltaïque et éolien :

Le tableau IV.3 montre la production énergétique mensuelle des composants du système hybride étudié et la taille de chaque composant nécessaire pour satisfaire une charge de consommation journalière supposée constante de l'ordre de 4.710 kWh par jour en utilisant les données estimées du site de Bejaia.

MOIS	Irradiation Mensuelle ($\frac{kWh}{m^2}$)	Energie du vent Mensuelle ($\frac{kWh}{m^2}$)	E_{pv} mensuelle ($\frac{kWh}{m^2}$)	E_{eol} mensuelle ($\frac{kWh}{m^2}$)	E_L (kWh)	A_{pv} (m^2)	A_{eol} (m^2)
JAV	160.5370	31.1781	11.5587	14.9655	121.520	6.6988	4.8720
FEV	163.8860	28.9532	11.7998	13.8975	113.68	6.1385	4.9079
MAR	187.6466	29.8259	13.5106	14.3165	121.52	5.7310	5.0929
AVR	185.2149	26.5642	13.3355	12.7508	117.60	5.6189	5.5338
MAI	190.0646	23.6486	13.6847	11.3513	121.52	5.6581	6.4232
JUI	190.4512	25.5606	13.7125	12.2691	117.60	5.4644	5.7510
JUIN	201.1160	27.6603	14.4804	13.2769	121.52	5.3472	5.4916
AOU	203.5266	28.9466	14.6539	13.8944	121.52	5.2838	5.2476
SEP	193.1726	23.4424	13.9084	11.2524	117.60	5.3875	6.2707
OCT	182.3539	25.6021	13.1295	12.2890	121.52	5.8973	5.9331
NOV	157.0889	26.9729	11.3104	12.9470	117.60	6.6250	5.4499
DEC	151.4980	37.2519	10.9079	17.8809	121.52	7.0984	4.0776
Moyenne mensuelle	180.5464	27.9672	12.9993	13.4243	119.560	9.2792	9.0349

Tableau IV.3 : La production énergétique mensuelle des composants du système hybride étudié.

Les résultats du dimensionnement du système hybride selon la méthode moyenne mensuelle annuelle obtenus par simulation (voir annexe) sont représentés dans le tableau ci-dessus :

Ces résultats montrent que la configuration du système photovoltaïque seul ($f=1$) nécessite 15 modules photovoltaïques. Pour le système éolien pur ($f=0$) on a besoin de 03 éoliennes (Rayon de la turbine égale à 1m et de puissance 600 W). Quand au système hybride le plus économique et celui qui présente $f=0.7$ (11 modules photovoltaïques et 01 éolienne).

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

	(m ²)	Modules PV (Nb)	Area (m ²)	Générateur Eolien (Nb)
0	0	0	9.4200	3
0.1	1.2920	2	9.4200	3
0.2	1.9380	3	9.4200	3
0.3	3.2300	5	9.4200	3
0.4	3.8760	6	6.2800	2
0.5	5.1680	8	6.2800	2
0.6	5.8140	9	6.2800	2
0.7	7.1060	11	3.1400	1
0.8	7.7520	12	3.1400	1
0.9	8.3980	13	3.1400	1
1	9.6900	15	0	0

Tableau IV.4 : Dimensionnement selon la moyenne mensuelle annuelle.

IV.6.2 Taille de la batterie :

La capacité de la batterie de stockage peut être exprimée par [42] :

$$C_{\min} = C_B [Ah] = \frac{E(Wh/j)}{Rc * U_B * PDD} * Nj[j] \quad (IV-27)$$

Nj : Autonomie des batteries à utiliser (03 jours).

PDD : Profondeur de décharge des batteries (0.8).

Rc : Rendement des batteries (0.9).

U_B : Tension nominale de la batterie (12V).

$E(Wh/j)$: Energie électrique appelée par la charge (4710Wh/j).

Ce qui revient à utiliser 4 batteries de 192 Ah.

IV.6.3 Dimensionnement du groupe électrogène d'appoint :

Les groupes électrogènes sont des systèmes à principe de fonctionnement connu, son dimensionnement se fait en fonction de leurs courants débités à la charge. Dans notre étude on a choisi un groupe qui délivre une tension constante de 220 V, et un courant de 10A et une puissance de 2 KVA.

IV.7 Simulation du système hybride dimensionné :

hybride dimensionné on a élaboré un programme de simulation sous Matlab/simulink (voir annexe ()). On a simulé le système pour 01 journée puis pour 02 journées consécutives et on a visualisé les puissances délivrées par chaque source ainsi que la variation de la tension de la batterie.

a) Les résultats de simulation d'une journée :

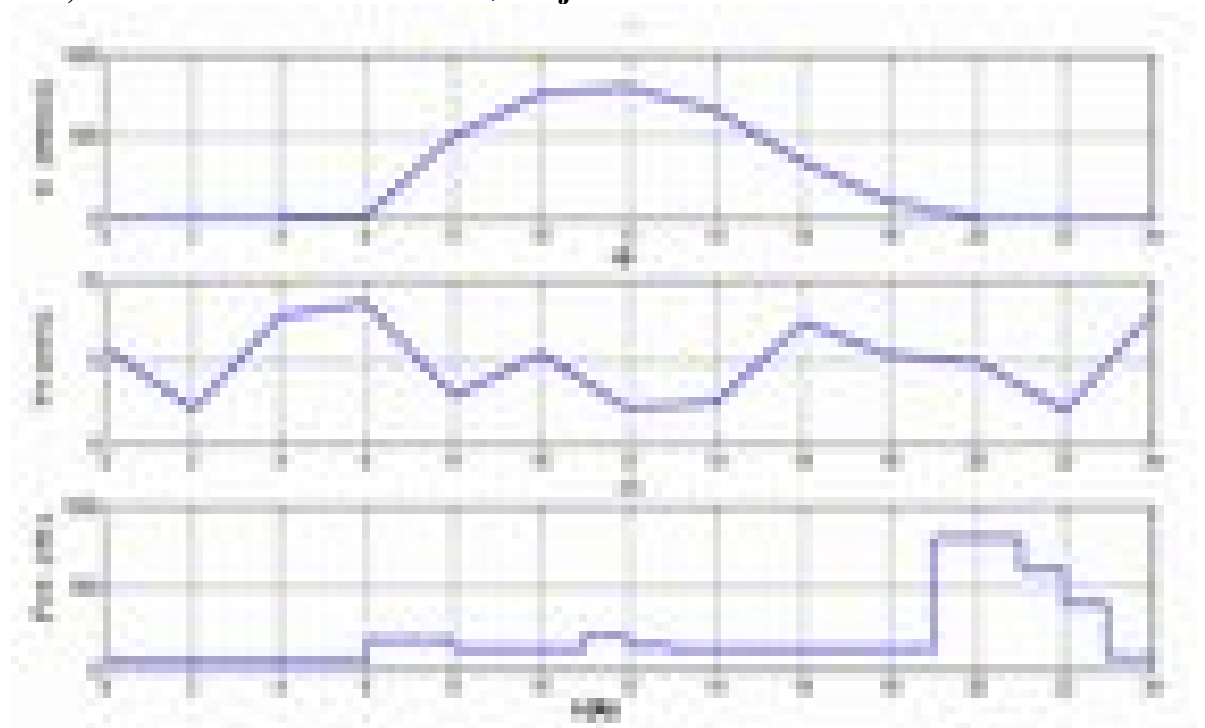


Figure IV.8 : Variation d'éclairement, vitesse du vent et la puissance de la charge sur une journée.



ension de la batterie de stockage.

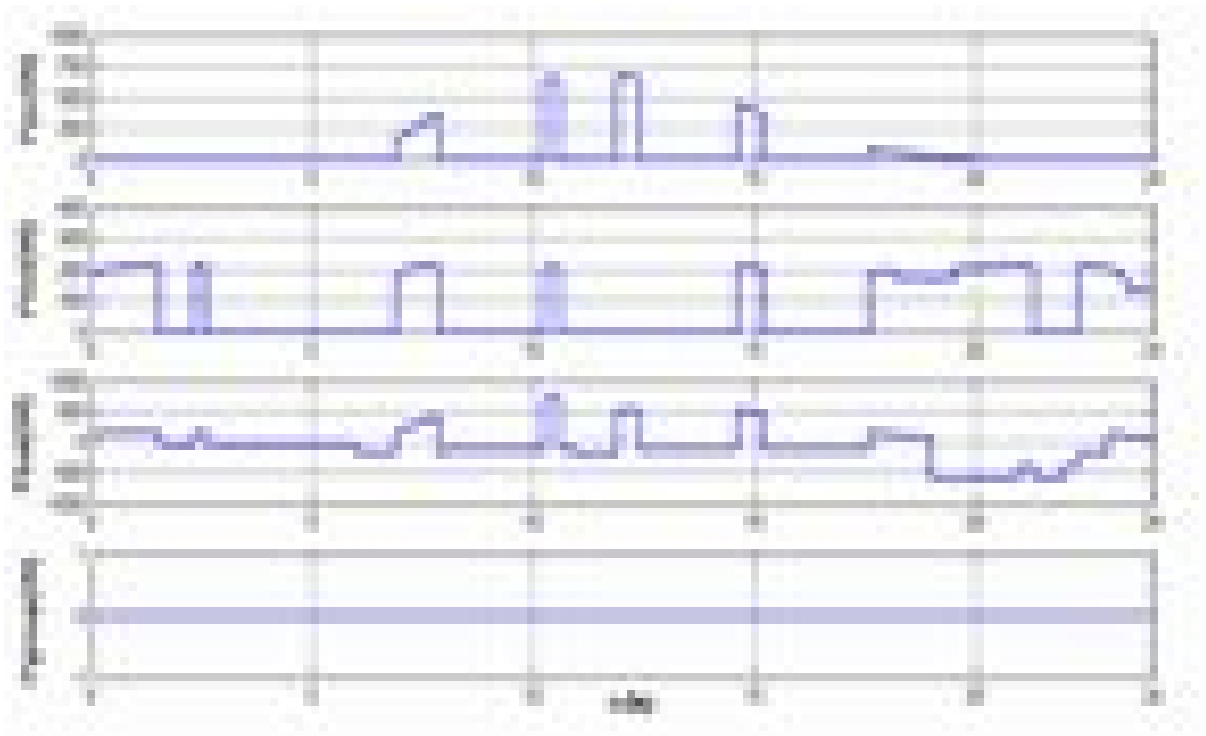


Figure IV.10 : Les puissances délivrées par les différentes sources.

b) Les résultats de simulation de 02 journées :

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

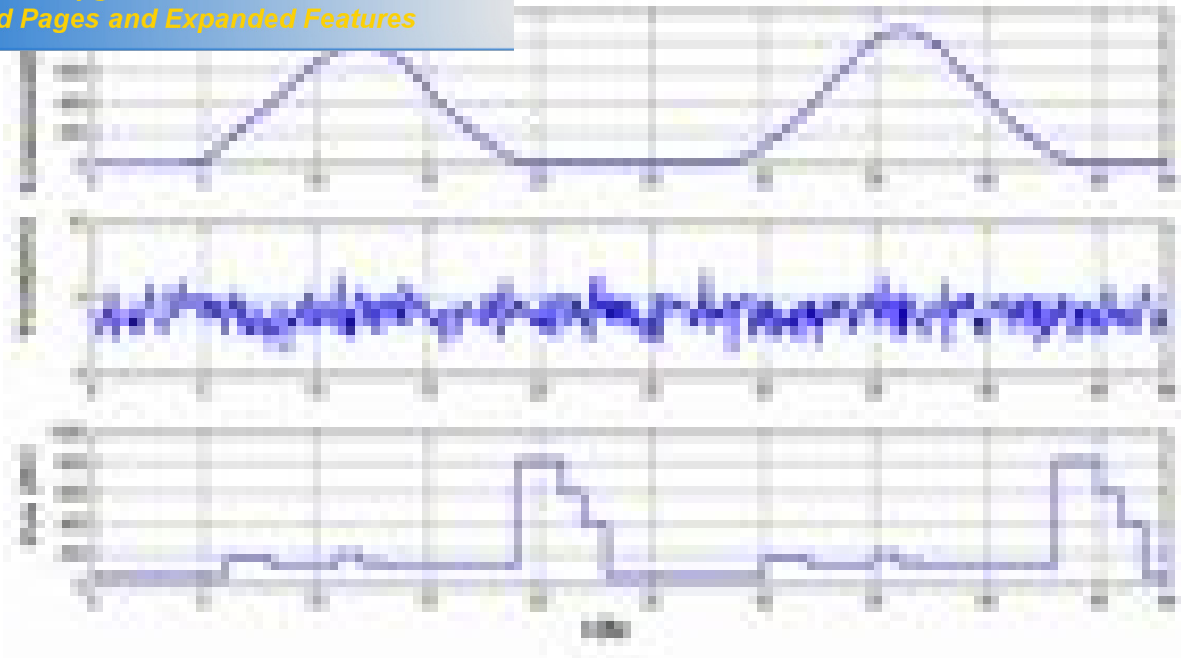


Figure IV.11: Variation d'éclairement, vitesse du vent et La puissance de la charge sur 02 journées.

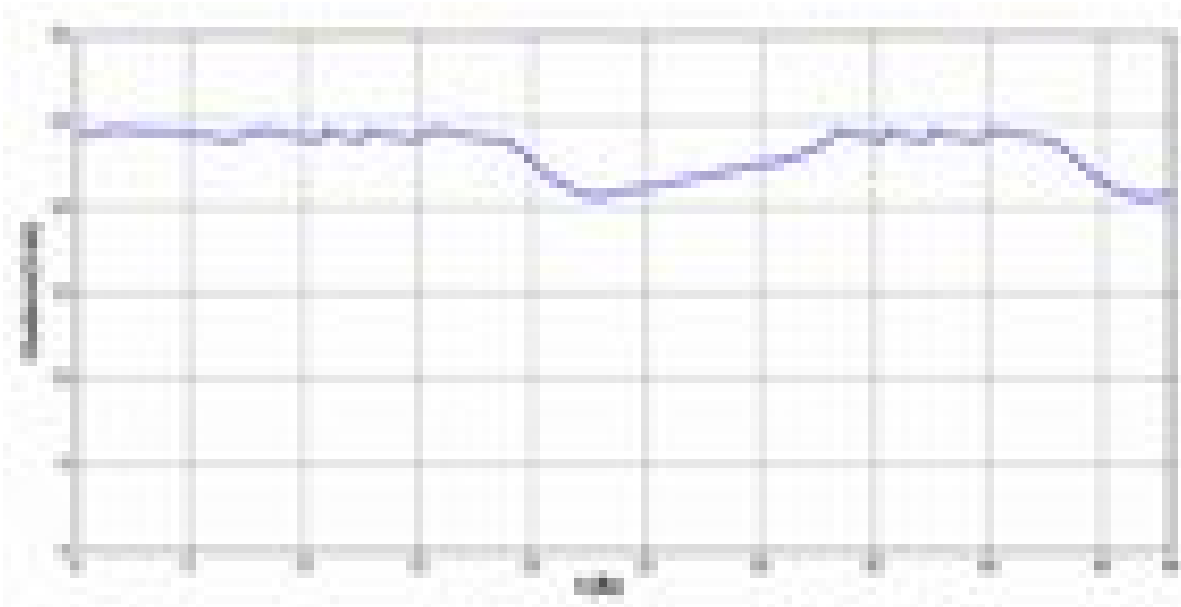


Figure IV.12: La tension de la batterie de stockage.

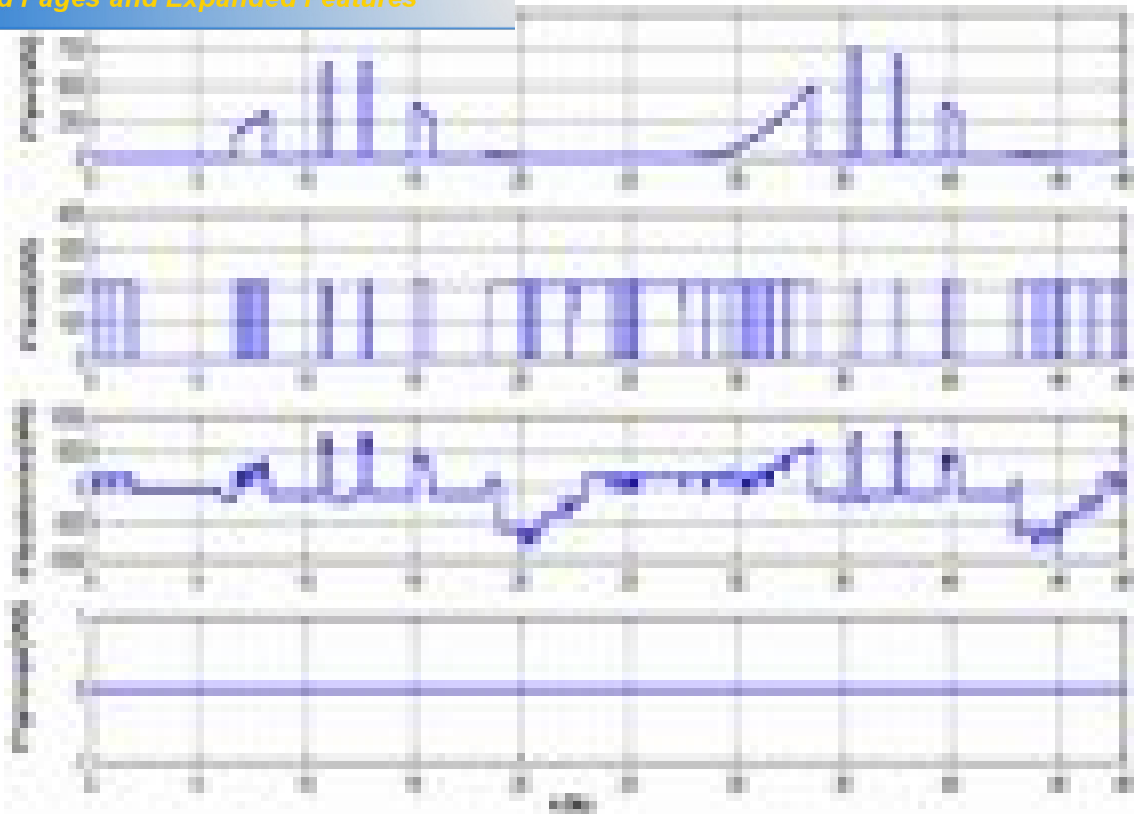


Figure IV.13: Les puissances délivrées par les différentes sources.

On constate d'après ces résultats que la somme des puissances instantanées délivrées par les différentes sources égale à la puissance demandée par la charge. Comme on remarque que la puissance délivrée par le groupe électrogène est nulle dans les deux cas, car les conditions de démarrage du groupe ne sont pas présentes (décharge de la batterie, la somme des puissances éolienne et photovoltaïque inférieure à la puissance demandée par la charge). Comme on remarque d'après ces résultats que malgré l'optimisation du dimensionnement l'énergie produite par les sources renouvelables n'est pas consommée en totalité par la charge, une connexion au réseau d'un tel système est très intéressante pour dégager l'excès d'énergie.



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Dans ce chapitre, le dimensionnement d'un système d'énergie hybride autonome (photovoltaïque, éolienne, diesel) a été effectué, par l'estimation du potentiel énergétique de la région de Bejaia et l'énergie demandée par l'utilisateur.

A partir de ces données indispensables, on a dimensionné le champ photovoltaïque, le générateur éolien et le groupe électrogène qui convient à notre installation.

Notre choix s'est porté sur un dispositif de stockage d'énergie par batteries. La simulation numérique de tout le système hybride montre l'efficacité et la fiabilité de ce dispositif.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce modeste travail était la commande, le dimensionnement et la simulation numérique du fonctionnement de système de production d'énergie électrique autonome hybride ou multi sources qui se compose d'un générateur photovoltaïque, d'une éolienne, d'un dispositif de stockage et d'un groupe électrogène de secours pour l'alimentation d'un foyer isolé.

Pour la modélisation de notre système hybride, on a effectué un choix d'une chaîne de conversion éolienne (turbine, génératrice synchrone à aimants permanents, redresseur à diodes et un onduleur MLI) et un modèle des cellules qui composent les panneaux photovoltaïques utilisés. Puis on a appliqué la commande MPPT pour les deux sources d'énergie renouvelable.

Nous avons fait un dimensionnement d'un système hybride de production électrique autonome après l'étude du potentiel énergétique sur notre site et la détermination du profile de charge.

Comme perspective, nous espérons que notre travail de simulation et de dimensionnement soit complété par des tests de validité sur le terrain afin de connaître les performances réelles de notre système hybride et que la modélisation que nous avons effectuée soit enrichie.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*


[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Références Bibliographiques

- [1]: E.IAN BARING-GOUL, L. FLOWERS, P. LUNDSAGER «World wide status of wind-diesel application» Pre-work shop Wind-diesel, Anchoray, Alaska, 2004.
- [2]: J.G. Mc GOWAN, J.F. MANWELLE«Hybrid/PV/Diesel system experiences» Renewable energy, 116,928-933, 1999.
- [3]: Ionel VECHIU « Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », thèse doctorat en génie électrique, Université du Havre, 2005
- [4]: M. ASHARI, C. V. NAYAR «An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system» Renewable energy, Vol.66, No.1, PP.1-9, Elsevier Science 1999.
- [5]: P. LUNDSAGER, H. BINDNER, N. CLAUSEN, S. FRANDBSEN, L. H. HANSEN, J. C. HANSEN«Isolated systems with wind power» Riso-R-1256(EN),2001.
- [6]: A. MIRICKI « Etude comparative de chaîne de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance » thèse de doctorat de l'institut national de polytechnique de Toulouse France, 2005.
- [7]: O. GERGOUD «Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur » thèse de doctorat de l'ENS de Cachan France, 2002.
- [8]: K. IDJDARENE « Analyse et contrôle d'une chaîne de conversion électrique par énergie éolienne » thèse magister en électrotechnique, université de Bejaia, 2005.
- [9] J. ROYER, T. DJIAKO, E. SCHILLER, B. SADA SY « Le pompage photovoltaïque » sous la direction de ARIC SCHILLER, 2004.
- [10] A. BELKAID « Optimisation de la commande des convertisseurs statique dans le cas de la production d'énergie électrique» thèse magister en électrotechnique, université de Bejaia, 2004.
- [11]: M. HUART «Guide des énergies renouvelables » Association pour la promotion des énergies renouvelables, Ministère de la région Wallonne éditeur, 1994.
- [12] : A. LARIBI, R. MECHOUCHE « Etude d'une mini centrale électrique hybride solaire diesel électrification d'un village isolé » mémoire de fin d'étude ingénieur en électronique, université de Bejaia 2002.

- IBAS, R. P. FIFFE «Assessment of different energy
tation» European wind energy conference, 2001.
- [14]: F. FAURE «Suspension magnétique pour volant d'inertie» Thèse soutenue à l'institut national polytechnique de Grenoble, 2003.
- [15]: C. D. BARELEY and C. B. WINN «Optimal dispatch strategy in remote hybrid power system » Solar energy, Vol.58, No. 4-6, pp. 165-179,1996.
- [16]: L. PROTIN, S. ASTIER «Convertisseurs photovoltaïques » Technique d'ingénieur, D3360, 2003.
- [17] : A. LABOURET, M. VILLOZ «Energie solaire photovoltaïque » Le manuel du professionnel, Edition, DUNOD, Paris, 2003.
- [18] : A. C. POSTOR «Evaluation comparative de chargeurs de batteries pour systèmes photovoltaïques » Projet de fin d'études, Université de Toulouse, 2002.
- [19]: O.GERGAUD, B. MULTON, BEN AHMED«Analyses and experimental validation of various photovoltaic system models» 7^{ème} congrée international ELECTRIMACS, Moréal, 2002.
- [20]: M. NIKOZ, H. DEHBONEI, C. NAHER«A DSP-controlled photovoltaic system with maximum power point tracking » Revue electrical engineering and information technology ITEE, pp: 1-6, Australie, 2003.
- [21]:M. J. Wu, E. J. TIMPSON, S. E WATKINS « Temperature considerations in solar arrays» IEEE Conference Annual Technical and Leadership Workshop, pp: 1-9, 2 Avril 2004.
- [22]: A. ABDELLI «Optimisation multicritère d'une chaine éolienne passive »Thèse doctorat, INP de Toulouse, 2007.
- [23] : M. L.ELHAFYANI, S. ZOUGGAR, A. AZZIZ, M. BENKADDOU«Conception et modélisation d'un système éolien contrôlé par un régulateur de tension» Ecole supérieure de technologie, 2003.
- [24] : J. P. FERREAUX, F. FOREST «Alimentation à découplage » Troisième édition, 1999.
- [25] : C. CHABERT, A. RUFER, « Optimisation des convertisseurs de puissance embarques, adaptation des cellules a lien alternatif mf et commutation douce» EPF 2000 : 8^{ème} colloque Electronique de puissance du future, Lille, France, 29 Novembre-1 Décembre 2000.
- [26]: E. ROGERS, Texas Instruments, « Understanding buck-boost power stages in switch mode power supplies» 1999.
- [27]: A. BERNARDINIS « Etude et optimisation d'un ensemble alternateur à aimant/redresseur commandé. Application à un véhicule hybride » Ecole Polytechnique, Université de NANTES, 2000.

- ET et C. RAMET « Projet d'initiative personnelle le
gétique, 2006
- [29]: M. MAYOUF « Contribution à la modélisation de l'aérogénérateur synchrone à aimant permanent » Mémoire magister, Université de Biskra, 2008.
- [30]: K. YUKICHI. I. TAKAHISA.O. M. SAKUI « A maximum power control of wind generator system using a permanent magnet synchronous generator and a boost chopper circuit » Faculty of Engineering, Toyoma University,2005.
- [31]: E. ROGERS « Understanding buck-boost power stages in switch mode power supplies » Texas Instruments, 1999.
- [32]:T. WILDI « Electrotechnique» 3éme Edition, 2001.
- [33] : T. REMDANI « Mise au point d'un convertisseur DC/AC pour système photovoltaïque de moyenne puissance » Thèse magistère, USTHB Alger 1998.
- [34] : B. FLECH, D. DELAGNES « Energie solaire photovoltaïque » STI ELT Approche générale, JUIN 2007.
- [35] : M. CAPDEROU « Energie solaire de l'Algérie » Office des publications universitaire, Algérie Tom1, Tom 2, 1986.
- [36] : A. MEFTI, M. Y. BOUROUBI « Estimation et cartographie de la composante globale du rayonnement solaire » CDER, 1999.
- [37]: J. A. DUFFI, A. WILEY and W. A. BECKMAN « Solar Engineering of Thermal Processes », Second Edition. Interscience Publication, 1991.
- [38] : M. CHIKH, A. MALEK et M. DRIF « Corrélation de la fraction diffuse en Algérie » CDER, 1999.
- [39]: C.T. KIRANOUDIS, N.G. VOROS and ZB. MAROULIS, «Short Cut Design of Wind Farms», Energy Policy, 2001.
- [40]: S. DIAF, M. HADDADI et M. BELHAMEL « Analyse technico économique d'un système hybride (photovoltaïque/ éolien) autonome pour le site d'Adrar » Revue des énergies Renouvelables Vol. 9, pp 127-134,2006.
- [41]: M.A. EL HADIDY, «Performance Evaluation of Hybrid (Wind/Solar/Diesel) Power Systems», Renewable Energy, Vol 26, pp. 401-413, 2002.
- [42] : O. AMRANI «Etude, simulation et réalisation d'une central hybride (solaire-diesel) » Mémoire de magister université de Bejaia, 2006.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ANNEXES

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

nement de SEH étudié :

A	B	C	D	E	F	Tpv	Téol	Tgroup
1	1	1	1	1	1	*	*	*
1	1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	*	*	*
1	1	1	0	1	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	*	*	*
1	1	0	1	1	0	*	*	*
1	1	0	1	0	1	*	*	*
1	1	0	1	0	0	*	*	*
1	1	0	0	1	1	*	*	*
1	1	0	0	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	*	*	*
1	0	1	1	1	0	0	1	0
1	0	1	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1	*	*	*
1	0	1	0	1	0	*	*	*
1	0	1	0	0	1	*	*	*
1	0	1	0	0	0	*	*	*
1	0	0	1	1	1	*	*	*
1	0	0	1	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	1	*	*	*
1	0	0	0	1	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	1	1	1	1	*	*	*
0	1	1	1	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	*	*	*
0	1	1	0	1	0	*	*	*
0	1	1	0	0	1	*	*	*
0	1	1	0	0	0	*	*	*
0	1	0	1	1	1	*	*	*
0	1	0	1	1	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0	0

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

				0	0	1	0	0
				1	1	*	*	*
0	1	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	1	1	*	*	*
0	0	1	1	1	0	1	1	0
0	0	1	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	0
0	0	1	0	1	1	*	*	*
0	0	1	0	1	0	*	*	*
0	0	1	0	0	1	*	*	*
0	0	1	0	0	0	*	*	*
0	0	0	1	1	1	*	*	*
0	0	0	1	1	0	1	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	1	*	*	*
0	0	0	0	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0

Paramètres de la GSAP :

- Nombre de paires de pôles : $p=17$
- Tension nominale : $U_n=90V$
- Courant nominal : $I_n=4,8A$
- Puissance nominale : $P_n=600W$
- $R_s = 137, 1\Omega$
- $\phi_{eff} = 0.14 Wb$
- $L_s=2.7 mH$
- $J_m=0.1 Kg. m^2$
- $f_m=0.06 N.m.s/rad$

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

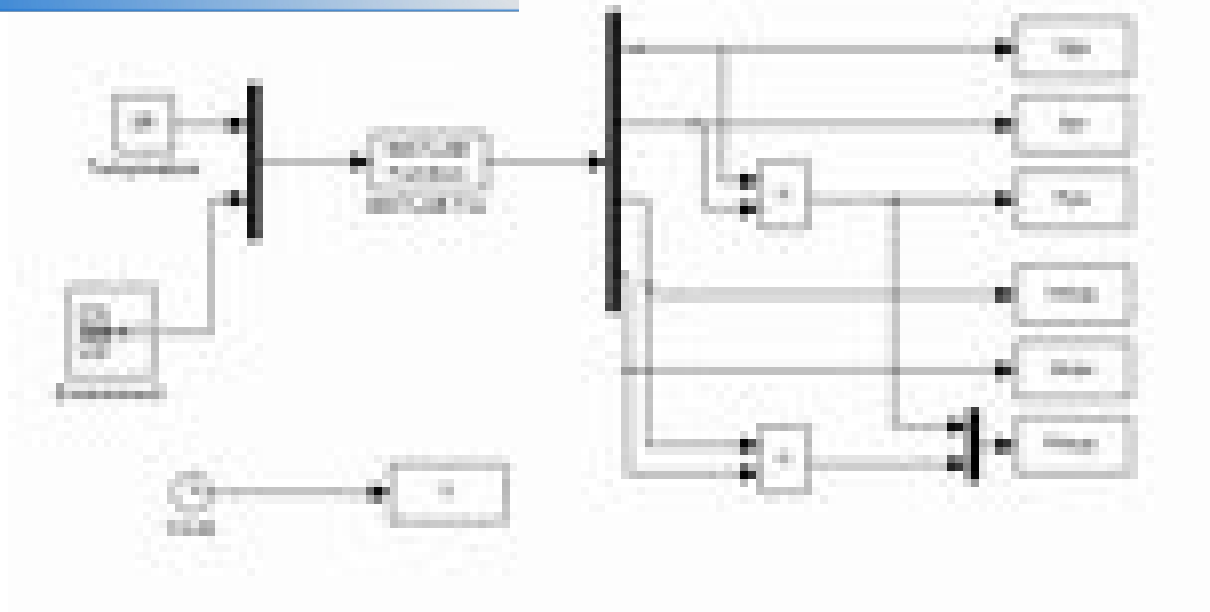


Schéma bloc du MPPT du générateur photovoltaïque.

Programme de recherche de point de puissance maximale de générateur photovoltaïque :

```

function y=dd(u)
Ej=u(2);
Tj=u(1);
%Tj=25;
K1=0.01175;
Imp=4.65;
Vm=17.2;
Isc=5;
Vsc=21.6;
Bsc=-0.155;
T=25;
E=1000;
K3=log((Isc*(1+K1)-Imp)/(K1*Isc));
K4=log((1+K1)/K1);
m=log(K3/K4)/log(Vm/Vsc);
K2=K4/(Vsc^m);
V=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 15.5 16 16.5 17 17.5 18 18.5 19 19.5 20 20.5 21
21.6 ];
for i=1:29;
d=V.^m;
Ipv=Isc*(1-K1*(exp(K2*d)-1));
Asc=(0.0006)*Ipv;
dT=Tj-T;

```

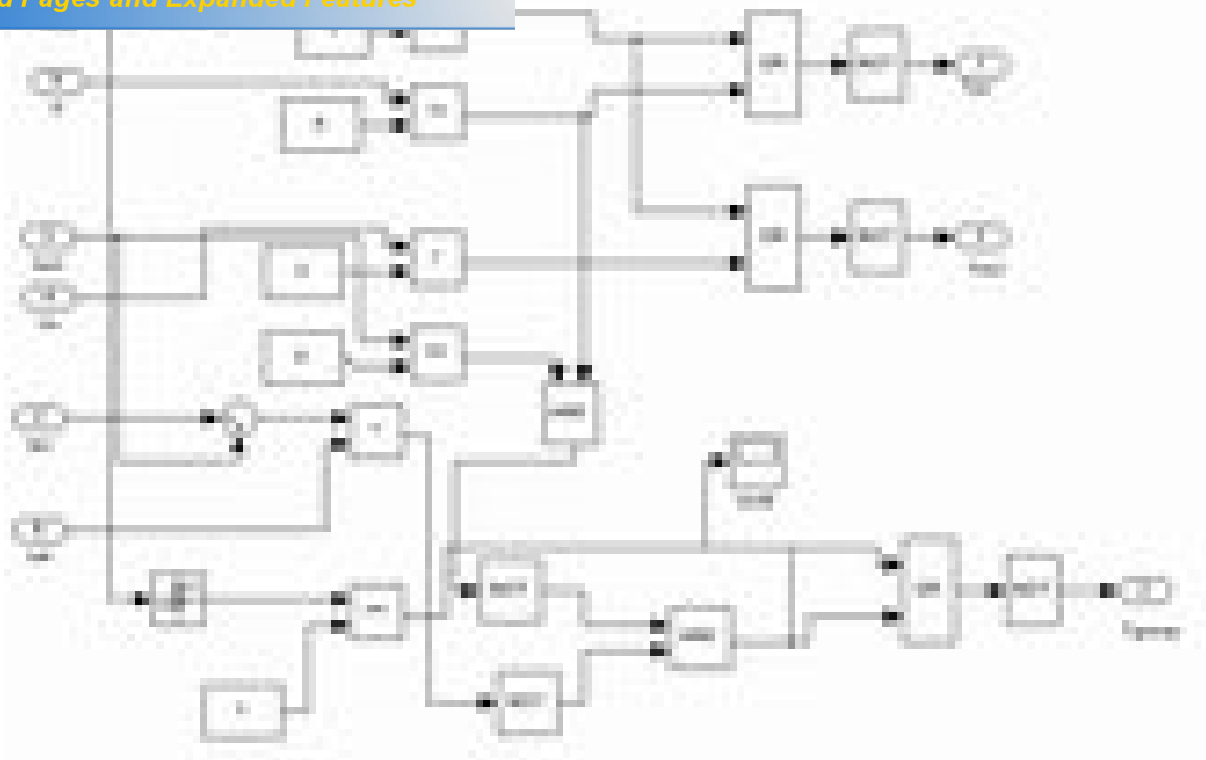
[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

```
R=0.3;
dV=Bsc*dT+R*dI;
v=V+dV;
p=I.*v;
end
subplot(1,2,1);plot(v,I); hold on
subplot(1,2,2);plot(v,p); hold on
%CONVERTISSEUR MPPT
v1=v(1);
I1=I(1);
for i=1:29
    P(i)=v(i)*I(i);
    if v1*I1<v(i)*I(i)
        v1=v(i);
        I1=I(i);
    else
        v1=v1;
        I1=I1;
    end
end
end

v1;
I1;
P=v1*I1;
If=P/24;
vf= 24;
y1=v1;
y2=I1;
y3=If;
y4=vf;
y= [y1 y2 y3 y4].
```

Schéma bloc de gestionnaire des sources de SEH étudié :

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Programme de estimation du flux global d'irradiation solaire sur le plan incliné et du dimensionnement de SHE étudié :

```
clear;
w=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
n=[17 47 75 105 135 162 198 228 258 288 318 344];
ss=[166.1 170.3 205.9 224 258.9 300.6 319.8 294.8 247.4 202.9 160.8 149.7];
x=[31 29 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31];
s=ss./x;
L=36.73*pi/180;
G=1367;
%calcul de la déclinaison
g=23.45*sin(2*pi*(284+n)/365);
```


[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

```

w1=acos(-tan(L)*tan(g1));
% H0 L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère
c=1+0.034*cos(2*pi*n/365);
H0=(24*c*G/pi).*(cos(L).*cos(g1).*sin(w1)+w1.*sin(g1).*sin(L));
S0=(2/15)*w1*180/pi;%La durée astronomique du jour
Q=s./S0;% Le taux d'insolation
K=0.40+0.36*Q;
H=K.*H0;
kt=H./H0;
E=H./S0;
Hd=0.203*H;
% Calcul de l'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée
%R :Le facteur de conversion
Bl=L;
q=0.22;
w2l=acos(-tan(L-Bl).*tan(g1));
X=[w1; w2l];
w3l=min(X);
R=(cos(L-Bl).*cos(g1).*sin(w3l)+w3l.*sin(L-
Bl).*sin(g1))./(cos(L).*cos(g1).*sin(w1)+w1.*sin(L).*sin(g1));
Hs=(H-Hd).*R+Hd.*(1+cos(Bl))/2+H*q.*(1-cos(Bl))/2
E1=Hs./S0;
plot(w,H),hold on
plot(w,Hs);hold on
%dimensionnement
%energie MONSUELLE du vent
V=[4.09 4.08 4.03 3.92 3.73 3.87 3.93 3.99 3.76 3.83 3.94 4.34];
m=(V.^3);
EE=0.5*1.225*24*m;
EV=x.*EE;
EV1=sum(EV)/12;
%irradiation MONSUELLE
Hm=Hs.*x;
Hm1=sum(Hm)/12;
%calcul de l'energie mensuelle produite par les panneaux pv
Tc=25+Hm./160;

Epv=Hm.*0.08*0.9;
Epv1=sum(Epv)/12;
%calcul de l'energie mensuelle produite par l'éolienne
Eeo=EV*0.48;
Eeo1=sum(Eeo)/12;
%calcul de l'energie mensuelle consommée par la charge
El=3920*x;
El1=sum(El)/12;
%calcul de la surface PV
Apv1=El./Epv;
Apv11=sum(Apv1)/12;

```

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

```
Aeol1=sum(Aeol1)/12;  
%calculé du nombre des panneaux pv  
f=[0:0.1:1];  
Apv2=f*Apv11;  
Apv22=Apv2./0.646;  
Apv=ceil(Apv22);  
Aeo2=(1-f)*Aeol11;  
Aeo22=Aeo2./3.14;  
Aeo=ceil(Aeo22);  
pv=[Apv];  
eol=[Aeo];  
Spv=Apv*0.646;  
Seo=Aeo*3.14;  
%dimensionnement des batteries:  
Cbat=(3920)*3/(0.9*0.8*24);  
Nb=ceil(Cbat/192).
```

Résumé

Dans la plus part des régions isolées, le générateur diesel est la source principale d'énergie électrique. Pour ces régions, le prix d'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement. Dans ce contexte, l'interconnexion de plusieurs sources d'énergie renouvelable (des éoliennes, des panneaux photovoltaïques, des petites centrales hydroélectriques, etc.) dans un système d'énergie hybride (SEH) peut avoir une incidence profitable sur la production d'énergie électrique, en terme de coût et de disponibilité.

Cependant, des améliorations dans la conception et le fonctionnement des SEH sont toujours nécessaires pour rendre cette technologie plus compétitive dans les régions isolées. Ainsi, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution à l'analyse du comportement et à la maîtrise des performances d'un SEH constitué par deux sources d'énergie renouvelable, un générateur diesel et des batteries de stockage. Ce type de système est étudié selon trois aspects : modélisation, maximisation de l'utilisation des ressources renouvelables et le dimensionnement.

Pour maximiser l'utilisation des ressources renouvelables, le dimensionnement et le choix du fonctionnement des composants sont réalisés en tenant compte des ressources énergétiques disponibles, ainsi que des contraintes d'utilisation. Ensuite, les modèles de simulation pour les sources du SEH, les éléments d'interconnexion et le système de stockage sont développés et réunis dans une bibliothèque de modèles paramétriques sous l'environnement MATLAB/Simulink. Les modèles de simulations, suffisamment précis, sont utilisés de manière modulaire pour une plus grande flexibilité dans l'étude du comportement dynamique du SEH et pour tester différentes stratégies de commande. Cette démarche permet ainsi de créer des scénarios de conditions de fonctionnement pour le SEH et de faire varier par la simulation, les sources d'énergies, le niveau et le type de charge. Chaque composant du SEH étudié inclut une stratégie de commande, dans le but soit de satisfaire un critère énergétique, soit de permettre de produire un comportement dynamique réaliste.