République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE. YAHIA FARES DE MEDEA
Faculté de La Technologie

Département de Génie Électrique



Mémoire

Mémoire de Projet de Fin d'Etude pour l'Obtention du Diplôme
Master en
Electrotechnique

Option : énergie renouvelable

Gestion et optimisation d'un système hybride G-PV Batterie GD, connecte au réseau

Présenté par :

BelabbaciabdelhafidMrMedjber .A

GuebbouhkhelifaMrMoualdia.A

Encadré par :

PROMOTION 2017-2018

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir prêté vie, santé et volonté pour achever ce travail.

Au terme de ce travail, nous adressons nos vifs remerciements à tous nos professeurs de la faculté des sciences et de la technologie qui ont contribué à notre formation.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur monsieur Dr.moualdia.h et Dr.Medjbar.A M.Khaled.b d'avoir dirigé ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à monsieur le président de jury et les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir assistés à notre soutenance.

Dédicaces

A la perle qui orne ma vie… maman chérie

À mon cher papa

À mes enfants Ayoub et Islam et Raghad À ma chère Ben Ali . Fatma

À mon collègue Khelifa Guebouh avec un grand cœur.

Azizi-Med Belhout-Kh, M. Mekhlouf - Dj , Saadoudi-Aek

À tous les collègue M2 à l'université

À tous mes frères et me colegue de CFPA

Abd elhafidh

Dédicaces

A la perle qui orne ma vie… maman chérie

À mon cher papa

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents. Que Dieu les garde.

A ma grande mère Zeinab.

À mes enfants Israa et Mohamed et Anfal.

A mes frères : Belabbassi abd elhafidh, ben laribi Ismail, Khaled Belhout, Azizi Med

A tous les agents de Sonalgaz.

khelifa

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 01

Chapitre I généralités et l'état de l'art des systèmes hybrides

Introduction……...…….……..…...……02

1.2 Les Energies Renouvelables …….…….……..……..….....02

1.2.1 La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables…….……02

1.2.2 Production de l'électricité par les énergies renouvelables :…….….....03

1.2.2.1 L'hydraulique ……..…….……..04

1.2.2.2 Le solaire ……...……04

1.2.2.3 L'éolienne …….…….…….....05

1.2.2.4 La biomasse ……..06

1.2.2.5 La géothermie ……...…….……07

1.2.2.6 Les énergies marines ……..…….……..07

1.2.2.7 L'hydrogène ……..……..……..07

1.3 Présentation De Système Hybride …… ……..……..08

1.3.1 Etat de l'art sur le système hybride de génération d'énergie ……...…….....08

1.3.2.1 Le générateur éolien …….…….....09

1.3.2 Les principaux composants d'un système SH ……...…….09

1.3.2.2 Le générateur photovoltaïque ……..……...……..10

1.3.2.3 Générateur diesel …….…….....12

1.3.2.4 Batteries de stockage ……..……..……...12

1.3.2.5 Système de supervision ……..……...……13

1.3.2.6 Les convertisseurs ……..…….…...……..13

1.3.2.7 Les charges …….……..…….……...14

1.4 .Structure Des Systèmes Hybrides …….…...….……14

1.4.1 Système hybride à base d'énergies renouvelables primaire seulement …….....15

1.4.2 Système hybride à base d'une ou plusieurs énergies renouvelables avec unité de secours ……..……15

1.4.3 Système hybride à base d'énergie renouvelable avec un système de stockage 16

1.5 Classification Des Systèmes Hybrides ……....…….……16

1.6. Problèmes Rencontres Dans Le Fonctionnement Des Sh .....….....17

1-7-Systèmes hybrides……..….……19

1.7.1les Systèmes Photovoltaïques Hybrides Généralités……..…...19

1.7.2. Les Différentes Configuration Les Systèmes Photovoltaïques Hybrides……20

1-Configuration série……...…..…….…….……..20

Les avantages…….…….……...21

Les inconvénients …….…….……..…….22

2-Configurationcommutée……...……...…..……..22

Les avantages de cette configuration ……...23

3-Configuration parallèle…….……..23

Avantage ……..…….…….……24

Le régime du fonctionnement …….…….…….....25

Classification……..……...…….…….……25

Désavantage ……25

1.9. Conclusion ……..……..26

Chapitre II Modélisation et commande d'un générateurphotovoltaïque

2.1. Introduction……..…….……..27

2.2. Modélisation d'une cellule photovoltaïque ……...27

2.2.1. Modélisation d'une cellule photovoltaïque à une seule diode……...……..……...27

2.2.1.1. Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque à une diode ……..……...….....27

2.2.1.2. Modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque à une diode…..……...……..28

2.2.2. Modélisation d'une cellule photovoltaïque à deux diodes……...……28

2.2.2.1. Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque à deux diodes……...……28

2.2.2.2. Modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque à deux diodes……...……29

2.3 Modélisation d'un générateur photovoltaïque (GPV)…….……...30

2.3.1. Modélisation d'un générateur photovoltaïque à une seule diode…….……..30

2.3.1.1 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque à une diode ……...…….…….30

2.3.1.2 Modèle mathématique d'un champ photovoltaïque à une diode……...……..…….30

2.3.2. Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque à deux diodes (GPV)…….....32

2.3.2.1. Modèle électrique d'un champ photovoltaïque à deux diodes…….……..…….32

2.3.2.2. Modèle mathématique d'un champ photovoltaïque à deux diodes…..……..……...32

2.4. Résultat de la simulation d'un module PV à une seule diode…….....33

2.4.1. Influence du branchement série parallèle sur les caractéristiques I(V) et P(V)……...34

2.4.2. Influence de l'éclairement ……34

2.4.3. Influence de la température……35

2.4.4. Influence de la résistance série sur la caractéristique I(V), P(V)……36

2.4.5. Influence de la résistance parallèle sur la caractéristique I(V), P(V)……..……..36

2.5. Système de stockage d'énergie…….……...37

2.5.1. Description du modèle……..……...38

2.5.2. Modèle de la capacité…….…….....38

2.5.3. Modèle des pertes par courant de gazéification…….……..39

2.5.4. Modèle de l'état de charge (ou SOC)……..…….……...39

2.5.5. Modèle de la tension…….……...39

2.6. Le Générateur diesel …….…….……..……..42

2.6.1. Introduction……..……..…….....42

2.6.2. Réserve tournante ……...43

2.6.3. Temps de fonctionnement minimal ……...……..……...43

2.6.4. Modélisation du groupe diesel…….……...……44

Chapitre III Commande d'un générateur pv

3. 1.Introduction ……..……45

3. 1.1. Convertisseur Buck (hacheur dévolteur)…….……...45

3. 1.1.1. Modèle du circuit équivalent……..……...46

3. 1.1.2. Approximation des Petites ondulations……..……47

3. 1.1.3. Volt-second balance et charge-balance……...…….....48

3. 1.1.4. Caractéristiques de l'état d'équilibre et rapport de conversion M(D)…….....49

3. 1.1.5. Détermination des ondulations de tension et du courant……..……..50

3. 1.2. Convertisseur Boost (hacheur survolteur)…….…….……...52

3. 1.2.1. Modèle du circuit équivalent……..…….……..52

3. 1.2.2. Caractéristiques de l'état d'équilibre et rapport de conversion M(D)…….…….54

3. 1.2.3. Détermination des ondulations de tension et du courant……...……..55

3. 1.3. Convertisseur buck-Boost (hacheur dévolteur-survolteur)...……..56

3. 1.3.1. Modèle du circuit équivalent….……..56

3. 1.3.2. Caractéristiques de l'état d'équilibre et rapport de conversion M(D)…….58

3. 1.3.3. Détermination des ondulations de tension et du courant……..……..59

3. 2. Poursuite du point de puissance maximale (MPPT)……..……60

3. 2.1. Algorithme Perturbation et Observation (P&O)…….……...…….61

3. 2.2. La méthode de l'algorithme “Incrémental Conductance” (InCond) simple…….……...62

3. 2.3. La commande MPPT FLOU……..……66

3. 3. Modélisation du convertisseur bidirectionnel (Onduleur-redresseur) à deux niveaux……..75

3.3.1. Définition…….75

3.3. 2. Principe de la MLI…….77

3.3.3. Stratégie de la commande MLI triangulé-sinusoïdale …….……..…….78

3.3. 4. Stratégie de la modulation vectorielle……..……..……78

3.4. Conclusion ……...…….80

Chapitre IV Gestion et optimisation du system hybride

4.1. Introduction……..……..81

4.1.2. Principe de fonctionnement……...……..81

Les avantages……...……..82

Inconvénients……...…..83

4-2.Simulation du model du système propose ……83

4.2.1. Vue global du système ……83

4.2- stratégie de gestion du système……..85

4.3. Résultats et Interprétation de la simulation de model du système……..86

4.3.1. Fonctionnement nuit ……...87

4.3.2. Fonctionnement en début de matin ……88

4.3.3. Fonctionnement en milieu de la journée ……89

4.3.4. Fonctionnement en fin de journée……..90

4.4. Optimisation ……...91

4.4.1. La fonction du cout du système ……...……...94

4.4.2. Interprétation des résultats ……....97

4.5. Conclusion ……...……..97

Conclusion générale ……..……..98

Liste des Figures :

Fig 1.1 Les énergies renouvelables……....03

Fig 1.2 Un moulin à eau……04

Fig 1.3 Énergie solaire thermique…….....05

Fig 1.4 Moulins à vent……...…….....06

Fig 1.5 Énergie Biomasse……..06

Fig1.6 Chaine de conversion avec une génératrice asynchrone et convertisseurs statiques…..…10

Fig 1 .7 system éolien .....….10

Fig 1.8 Principe du fonctionnement d'un GP…….……...……11

Fig 1.9 Panneaux solaire installé à:a) Rope Marina b) Parker Ranch c) Brazil……11

Fig 1.10 Configuration de générateur diesel…….……12

Fig 1.11 Système de supervision…….…..13

Fig1.12 Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge……..……..15

Fig. 1.13 Système hybride PV - Diesel série…….21

Fig. 1.14 Système hybride PV- GD commute ……..……23

Fig. 1.15 Système hybride pv-gd connecte parallèle…….……...…….24

Fig.1.16 : Classification des systèmes hybride……..……25

Fig 2.1: Schéma équivalent d'un panneau photovoltaïque à une diode. ……..…….28

Fig 2.2: Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire à deux exponentielles……..29

Fig 2.3: Schéma électrique d'un générateur photovoltaïque, modèle 1diode……...…….30

Fig 2.4: Schéma électrique équivalent d'un générateur photovoltaïque……32

Fig 2.5: a) Caractéristique courant tension b) puissance tension d'une cellule solaire…….33

Fig 2.6: a) Caractéristique courant tension b) puissance tension d'un panneau PV……..33

Fig 2.7: a) Influence du branchement série parallèle sur la caractéristiques I(V) et b) sur la caractéristique puissance tension……...……34

Fig 2.8: Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I(V) et P(V)……..34

Fig 2.9: Influence de la température sur la caractéristiques a) courant tension I(V) et b) sur la caractéristique puissance tension P(V). ……35

Fig 2.10: Influence de la résistance série sur la caractéristique a) courant tension I(V) et b) sur la caractéristique puissance tension P(V). ……..……..36

Fig 2.11: Influence de la résistance série et la résistance de shunt sur la caractéristique I(V) et P(V)……36

Fig 2.12: Modèle équivalent d'une batterie plomb-acide. ……...…….37

Fig 2.13: Schéma de bloc d'une batterie. ……..…….38

Fig 2.14: Comportement de la batterie lors de la charge……..…….41

Fig 2.15: Comportement de la batterie lors de la décharge……...……41

Fig : 2.16. : Configuration du générateur diesel……42

Fig 2.17 : Consommation en fuel en fonction de la puissance fournie par un GD……...…….44

Fig3.1:Tension idéale du commutateur Vs(t), rapport cyclique D et période de com Ts …….45

Fig 3.2: Circuit idéal d'un convertisseur Buck ……..……46

Fig 3.3: Circuit équivalent d'un hacheur buck quand le commutateur est fermé …….……46

Fig 3.4: Circuit équivalent d'un hacheur buck quand le commutateur est ouvert …….……47

Fig 3.5: Forme d'onde de la tension d'inductance vl (t) pour un hacheur buck idéal ……...…49

Fig3.6: Rapport de conversion M(D) en fonction du rapport cyclique D pour un hacheur bu..…50

Fig 3.7: Circuit idéal d'un convertisseur Boost ……...…..52

Fig 3.8: Circuit équivalent d'un hacheur boost quand le commutateur est fermé …….53

Fig 3.9: Circuit équivalent d'un hacheur boost quand le commutateur est ouvert ……..…….53

Fig3.10: Rapport de conversion M(D) en fonction du rapport cyclique D pour un hacheur bo....55

Fig 3.11: Circuit idéal d'un convertisseur buck-boost. …….56

Fig3.12: Circuit équivalent d'un hacheur buck-boost quand le commutateur est fermé ……..57
Fig3.13: Circuit équivalent d'un hacheur buck- boost quand le commutateur est ouvert ……..…57
Fig 3.14: Rapport de conversion M(D) en fonction du rapport cyclique D pour un hacheur buck-boost. …….59

Fig 3.15: Principe de fonctionnement de la commande MPPT. ……...……61

Fig 3.16: Algorithme de la méthode de Perturbation et d'Observation (P & O) du MPPT. Avec α est la largeur du pas de la perturbation. ……..…..62

Fig 3.17: Algorithme de la méthode de 'IncCond' du MPPT. Avec α est la largeur du pas d'ajustement. …….……63

Fig 3.18: Réponse de l'Algorithme P&O lors de fonctionnement standard. ……...……64

Fig 3.19: Réponse de l'Algorithme Incond lors de fonctionnement standard……..…….65

Fig 3.20: Réponse des trois contrôleurs dans les conditions standards…….66

Fig 3.21: Variation de l'éclairement en fonction de temps……67

Fig3.22:Réponsedestroiscontrôleurslorsd'une augmentation de l'éclairement…….68

Fig 3.23: Réponse des trois contrôleurs lors d'une diminution de l'éclairement……..……69

Fig 3.24 : variation de la température en fonction de temps…….……70

Fig 3.25: Réponse des trois contrôleurs lors d'une augmentation de la température……71

Fig 3.26: Réponse des trois contrôleurs lors d'une diminution de la température……..……..72

Fig 3.27: évolution du point de fonctionnement du GPV respectivement lors d'une augmentation et une diminution de l'éclairement. ……..……73

Fig 3.28: Onduleur de tension à deux niveaux. ……74

Fig 3.29: a) Principe de la MLI sinus triangle b) signes de commande de l'onduleur……76

Fig 3.30: Tension de sortie simple de l'onduleur. ……76

Fig 3.31: a) Les tensions de l'onduleur à deux niveaux b) signaux de commandes de l'ondu….77

Fig 3.32: Tension simple à la sortie de l'onduleur. ……..…78

Fig 3.33: a) Les tensions de l'onduleur à deux niveaux b) signaux de commandes de l'ondu….79
Fig 3.32: Tension simple à la sortie de l'onduleur. ……..…79

Fig 4.1 Principe de fonctionnement d'un système hybride. ……..……80

Fig 4.2: vue global du model de simulation……..…….84

Fig 4.3 organigramme de gestion du system hybride. ……..……85

Fig 4.4: résultat simulation du modèle……..……86

Fig 4.5 : Fonctionnement nuit……..……..87

Fig 4.6 : Fonctionnement en début de matin ……..……..88

Fig 4.7 : Fonctionnement en milieu de la journée ……89

Fig 4.8 : Fonctionnement en fin de journée ……..……90

Fig 4.9 : fig production énergétique journalier par bronche sur une période de 2 ans……..92

Fig4.10 : Le bilan énergétique sur une période de 2 ans……..…….93

Fig 4.11 : nombre des batteries en fonction nbr pv. ……..…96

Fig 4.12 : comparaison entre le nombre des batteries et pv. ……..……96

Liste tableaux :

Tab1.1 : classification des systèmes hybride par gaine de puissance……..16

Tab 1.2 : classification des systèmes éolien –Diesel base sur le taux de pénétration de l'énergie éolien...17

:Tab.3.1. Tableau d'inférence…….……67

Introduction générale

Les développements scientifiques et technologiques ont conduit à une augmentation de la consommation d'énergie électrique d'une façon exponentielle.

Parmi les solutions disponibles pour notre pays pour augmenter la production d'énergie électrique est d'utilisé l'énergie solaire pour résoudre le problème des surcharge et des coupures fréquents pondant la période d'été.

Cependant, les tendances actuelles, consistant à développer l'utilisation des énergies renouvelables vont évoluer. Les conditions préférentielles vont diminuer ou être remplacées par un autre système moins attractif. Ceci conduit à une nécessité de mener des recherches sur une architecture électrique novatrice pour valoriser la production de ce type d'énergies.

Le but de ce travail est de proposé une architecture d'un système hybride panneaux photovoltaïque/batteries/group diésel.

Ce système doit répondre à des critères d'optimisation technique /énergétique /économique qui ont pour but de rendre la solution proposée viable et attrayante pour des applications de plus en plus nombreuses.

Ce problème est donc complexe, car il intègre des paramètres multiples tels que les l'investissement, les évolutions du prix de l'électricité, le coût des technologies ou même les technologies utilisées, etc. mènent à la nécessité d'une analyse plus approfondie sur la faisabilité du système.

L'étude présentée est un apport méthodologique à cette problématique. Une méthode de dimensionnement optimal est proposée. Puis résolu par un algorithme a pour but de déterminer la configuration la plus appropriée pour l'application.

Nous avons organisée notre thèse à quatre chapitres :

- Dans le 1er chapitre, nous présentons une généralité sur les déférentes sources d'énergie renouvelable et l'état de l'art sur les systèmes hybride.
- Dans le 2ème chapitre, nous présentons la modélisation des composants du système hybride (PV, batterie, GD).
- Dans le 3ème chapitre, nous présentons les déférentes techniques de commande d'un générateur **PV** utilisée des convertisseurs statiques.
- Et dans le 4ème et dernier chapitre nous présentons nos simulations et le gestion et l'optimisation du système hybride.

1.1 INTRODUCTION :

Actuellement, la plus grande part de la consommation énergétique mondiale est dédiée à la production d'électricité. L'abondance des réserves de charbon et leur faible coût d'exploitation expliquent que le charbon soit économiquement avantageux et arrive en têtedans les ressources exploitées pour la production d'électricité. En revanche, l'impactenvironnemental du charbon est remarquable même avec la présence des technologies plusrécentes et moins polluantes. Ensuite vient le gaz naturel avec la turbine à gaz à cycle combiné qui est la principale technologie de la production d'électricité mise en service dans le monde [1]. En troisième place on trouve le nucléaire. Certainement le pétrole est peu utilisépour la production d'électricité à l'échelle mondiale mais en parallèle on le trouve avec le gazà la première place pour la production de l'électricité dans notre pays l'Algérie [2].

Les autresénergies sont surtout représentées par les énergies renouvelables, l'hydroélectricité en tête.Certains pays produisent l'essentiel de leur électricité grâce aux barrages et aux cours d'eau.Dans le monde entier les chercheurs demandent en urgence de faire changer la visionancienne pour la production d'électricité, ils appellent aux ressources d'énergiesrenouvelables qui vont prendre la base d'autres ressources fossiles afin de répondre aux exigences actuelles [3]. Une alternative intéressante et puissante comme celle de l'énergie solaire et l'éolienne ont attirées l'attention au niveau de la production de l'électricité à grande échelle.

Cependant elles présentent un inconvenant commun par leur caractère imprévisible etla dépendance des conditions météorologiques et climatiques qui changent avec le temps [9].Pour cela les systèmes hybrides combinent entre plusieurs formes d'énergie font l'axe principal de plusieurs travaux de recherches pour les sites éloignés de réseau électrique.

Dans la première partie de ce chapitre on va exposer l'historique et la croissance de l'exploitation des énergies renouvelables et ses applications dans le domaine de production de l'électricité, ainsi que les différentes structures des systèmes hybrides de génération d'énergie électrique et leur état de l'art actuel.

1.2 LES ENERGIES RENOUVELABLES :

1.2.1 La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables :

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre selon le protocole de Kyoto ;

rendent urgentes la maitrise des consommations et la diversification des sources d'énergie, un fait qui interpelle plus fort que jamais le développement des énergies renouvelables[10]. On dit que la source d'énergie est renouvelable si le fait de faire la consommer n'influence jamais sur sa quantité, ni faire limiter son utilisation au future. Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables [2].

Le besoin d'une alternative renouvelable pour faire produire l'électricité a été le sujet de discussion pour plusieurs secteurs et aux niveaux d'un grand nombre de pays au monde entier.

Les études ont étés élaborées pour faire de cet outil non polluons l'axe de recherche pour plusieurs chercheurs afin de réaliser un but majeur celle de minimiser les effets négatives de ressources classiques de production de l'énergie. L'Algérie est parmi les pays qui ont appelés à diversifier ses ressources économiques voir énergétiques de manière à limiter sa dépendance au pétrole et au gaz. Selon monsieur Brahim Zitouni directeur de la société émiratie de la biotechnologie [7]. Selon lui, les projets de type "Desertec" dont le pays à la juste volonté de se doter propose en filigrane de faire basculer graduellement le système énergétique algérien, en particulier dans sa dimension de production électrique vers l'énergie solaire.

1.2.2 Production de l'électricité par les énergies renouvelables :

Y'on a pleinement d'énergies qui rentrent dans cette catégorie, elles sont classées comme Suit (figure 1.1)

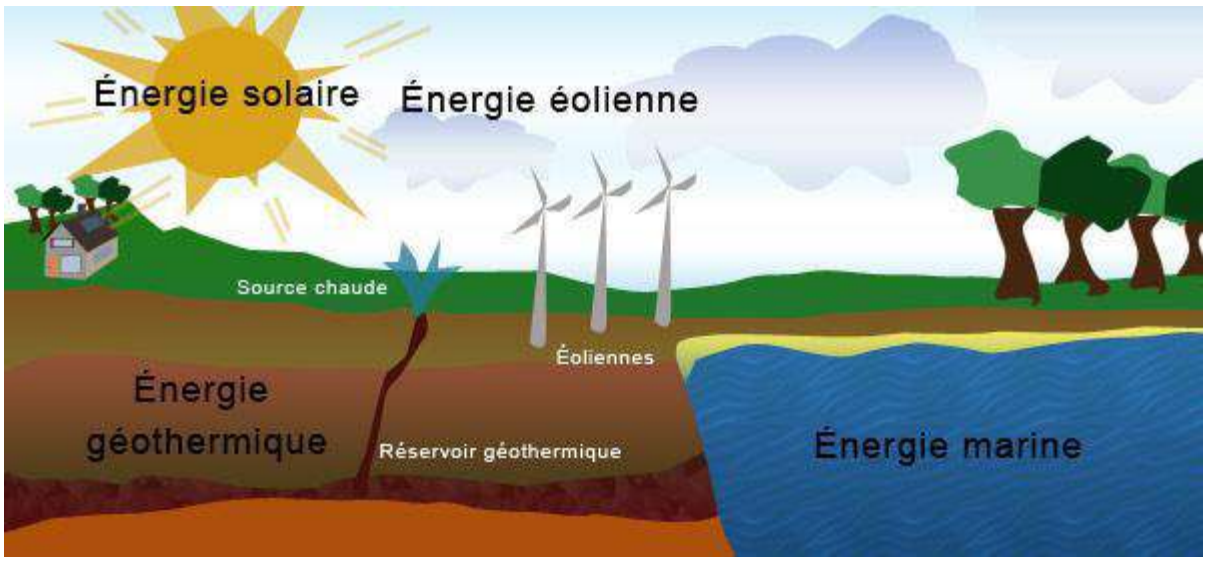


Figure 1.1 Les énergies renouvelables

1.2.2.1 L'hydraulique :

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice (figure 1.2). La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute.

Cette source à l'avantage de ne pas être polluante. On peut maitriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients [8].



Figure 1.2 Un moulin à eau

1.2.2.2 Le solaire :

Deux grand types d'énergies rentrent au-dessous de cette catégorie, la première thermique se base sur la température qui permet essentiellement de faire chauffer l'eau afin de produire une pression mesurable, on l'appelle aussi la production combinée de chauffage par plancher chauffant [6]. La deuxième photovoltaïque basée sur l'effet photoélectrique. Celui-ci permet de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette ressource a donc l'avantage d'être inépuisable et utilisable en tout point d'un territoire (figure 1.3).

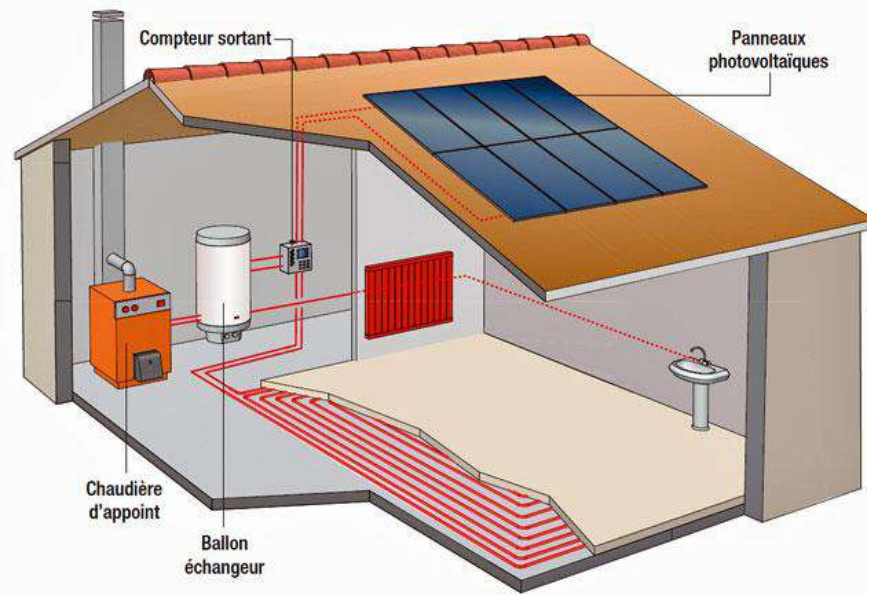


Figure 1.3 Énergie solaire thermique

On peut la considérer comme une énergie propre puisque sa production énergétique à partir des modules PV n'engendre pas de déchets impliquant la pollution à la terre. Cette ressource a toutefois deux inconvénients, la production est invariablement liée aux conditions climatiques et une surface considérable est nécessaire pour produire de grande quantité d'énergie puisque le rendement des panneaux PV est relativement faible [8].

1.2.2.3 L'éolienne :

Les énergies éoliennes sont notamment caractérisées par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne.

L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique par l'intermédiaire d'un rotor et de pales. Cette source est non polluante. Néanmoins l'énergie éolienne est intermittente, et l'installation de parc éolien engendre des impacts paysagés et sonores [9].



Figure 1.4 Moulins à vent

1.2.2.4 La biomasse :

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse. Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. Le bois énergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde [10]. Il s'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse ce qui est bien montré par la (figure 1.5). Elle est exploitée par combustion. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. Le problème plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable [8].

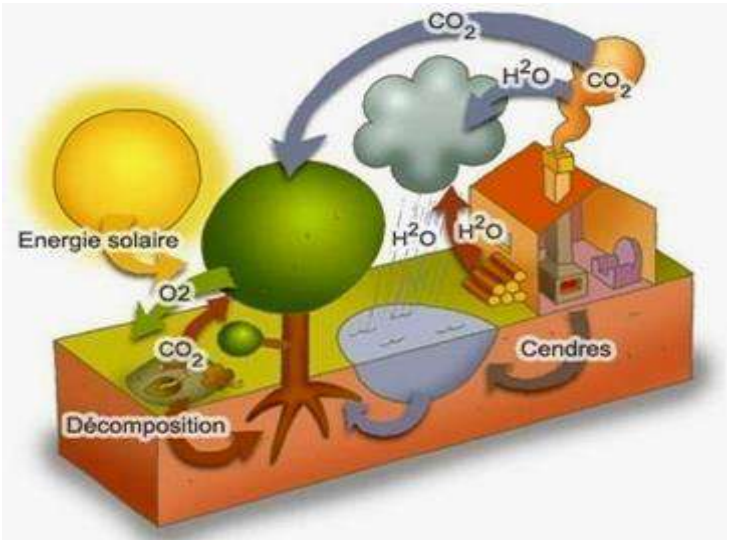


Figure 1.5 Énergie Biomasse

1.2.2.5 La géothermie :

Le terme géothermie provient du grec <Ge> et <thermos>, signifiant respectivement : la terre et la chaleur. La géothermie peut se définir comme étant la technique qui consiste à puiser dans le sous-sol ou dans les roches, les calories qui y sont contenues, afin de les rendre disponibles en surface pour des applications de chauffage ou de production d'électricité. Dans des cas particuliers, la géothermie peut consister à injecter de la chaleur dans le sous-sol afin de refroidir les installations de surface. Différents sources de chaleurs sont à l'origine de la chaleur interne de la terre : la radioactivité, la chaleur initiale, la chaleur de différentiation et les mouvements différentiels [11].Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques ; c'est donc une énergie fiable et disponible dans le temps. Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans le sens où un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer. Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure, dans certains cas très élevé [10].

1.2.2.6 Les énergies marines :

L'énergie marine ou des mers est extraite du milieu marin. Il y a notamment l'énergie marémotrice (issue du mouvement de l'eau créé par les marées), l'énergie des vagues (utilise la puissance du mouvement des vagues), l'énergie thermique des mers (produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans), les éoliennes offshore, et l'énergie osmotique (diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer).

Tout comme les autres sources renouvelables, elle est non polluante lors de la production. On note également que l'énergie potentiellement disponible est énorme et que cette technologie a un bel avenir [12].

1.2.2.7 L'hydrogène :

Dans le domaine de la recherche, une autre énergie a le vent en poupe. Très abondante, plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel, ni polluante, ni toxique, elle pourrait, du moins en théorie, répondre à tous nos besoins l'hydrogène tout ça à cause de ses avantages :

- l'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre
- l'hydrogène peut être stocké et distribué dans une variété de formes.

- l'hydrogène peut remplacer les combustibles fossiles pour fournir de l'électricité de manière différente. Il peut être utilisé comme carburant pour alimenter le moteur à combustion pour la production d'électricité en faisant tourner la machine.

Il peut également être directement utilisé par un électro-réacteur chimique dans les piles à combustible pour produire de l'électricité. Pour les puissances élevées la conversion la plus efficace de l'hydrogène à l'électricité peut être atteinte en production combinée en chaleur [13].

1.3 PRESENTATION DE SYSTEME HYBRIDE :

1.3.1 Etat de l'art sur le système hybride de génération d'énergie :

Pour les sites isolés et les zones éloignées du réseau électrique classique, la possibilité d'être connecter avec ce réseau reste un problème majeur au faite que le prix d'extension est prohibitif en parallèle avec l'augmentation de prix du combustible aussi. En évidence le prix des générateurs basés sur l'énergie renouvelable connaissent une baisse continue de prix au même temps une fiabilité croissante, ses avantages ont menés à une utilisation importante de génération de l'énergie électrique par les énergies renouvelables.

La relation qui mène ses énergies renouvelables au limite de l'utilisation à propos la variabilité des ressources et la fluctuation des charges selon les périodes annuelles et journalières liées aux conditions climatiques par exemple font l'objet d'une solution plus générale au niveau de la génération de l'énergie électrique , celle qui entraine une présence d'un système hybride de génération d'énergie rentre en application pour servir de l'énergie électrique aux relais de télécommunication, des postes frontières, l'habitat isolé, les dispensaires ...etc. Plusieurs applications et recherches peut y avoir connaitre dans des endroits déférents dans le monde entier. A Khartoum [14] pour une utilisation d'un système hybride afin d'alimenter des petites maisons, l'Inde [15] pour une intégration d'un système hybride dédié à fournir de l'énergie électrique pour des iles isolées et l'Arabie saoudite en [16] pour une étude présenté dans le cadre d'examiner la possibilité de l'utilisation d'un système hybride pour répondre au besoin de demande de l'énergie électrique à une petite village qui s'appelle Qtqt. Dans la littérature on trouve que les systèmes hybrides ont été étudiés pour un critère de fonctionnement isolé ou bien relié à un réseau électrique. Dans [17] une étude complète d'un système hybride éolien/photovoltaïque/diesel autonome été présentée, les résultats ont été bien illustrées, préfèrent cette installation en comparaison avec d'autres installations basées sur une source renouvelable ou deux. Plusieurs paramètres rentrent dans l'étude des systèmes hybrides, le dimensionnement de système est le premier a considéré, malgré que dans la littérature, il est difficile de trouver comment dimensionner les différents composants d'un système autonome. La

plupart des ouvrages portent sur la théorie de base des technologies, mais rarement sur le dimensionnement précis des équipements de base (par exemple les panneaux solaires, les éoliennes ou bien les génératrices). Les articles quant à eux ne fournissement pas ces informations, mais plutôt des informations très spécifiques sur l'étude réalisée et des comparaisons des résultats. Dans [4] on trouve une nécessité d'avoir une méthode d'optimisation pour garantir une efficacité de fonctionnement pour un système hybride autonome éolien/photovoltaïque. La méthode étudiée par les auteurs est basée sur l'algorithme génétique pour une optimisation parfaite du système en comparaison avec les méthodes classiques utilisées. Un autre travail présenté par Riad Chedid et Saifur Rahman dans [18] donnons un outil qui aide a déterminé une bonne configuration d'SH afin de bénéficier d'une construction optimale. Dans la même conception et dans [19], les auteurs ont fait apparaitre une méthode d'analyse pour l'optimisation du même système.

L'architecture, et même le choix de la stratégie de fonctionnement de système hybride peut aussi influencer sur l'image complète du système. D'autres paramètres permettent de faire évaluer les performances comme l'économie de carburant, le cout du KW, le nombre et la durée des pannes et le nombre d'arrêts pour l'entretien [20].

1.3.2 Les principaux composants d'un système SH :

Les énergies renouvelables comme les panneaux photovoltaïques, l'énergie éolienne ou bien l'énergie hydraulique sont souvent utilisées dans les SH, ses systèmes peuvent inclure d'autres composants comme les convertisseurs statiques et dynamiques, des batteries pour le stockage de l'énergie, et aussi bien des charges principales et des charges de délestage. La majorité de ses éléments se travaillent en parallèle pour introduire un système équilibré sert à bien fonctionner afin d'atteindre un but précis.

1.3.2.1 Le générateur éolien :

Parmi les différents générateurs d'énergie renouvelable utilisés dans le système d'énergie hybride, l'éolienne est techniquement et économiquement la plus développée. En général, on peut la classée en trois catégories :[13]

Système éolien sans convertisseur électronique : La plupart de ces topologies sont fondées sur une machine asynchrone à cage d'écureuil directement connectée à la grille. Il contient un démarreur utilisé pour réduire le courant d'appel pendant le démarrage et des batteries de condensateurs nécessaire pour compenser la puissance réactive. A l'ajout des

convertisseurs électroniques de puissance la complexité et le coût de système sera augmenté, mais au contraire le control du processus de la puissance sera bien évidement plus précis.

- Système éolien à l'aide partielle de convertisseur électronique : une structure particulière de cette topologie basée sur l'utilisation d'une machine asynchrone à rotor bobiné, cette bobine peut être alimentée par un convertisseur électronique afin d'atteindre une plage de vitesse variable de 2% à 4 %.
- Système éolien à l'aide complet du convertisseur électronique : dans cette configuration on peut utiliser une machine asynchrone à cage d'écureuil ou bien une machine synchrone, l'application de convertisseur électronique peut s'impliqué à éliminer la boite de vitesse.

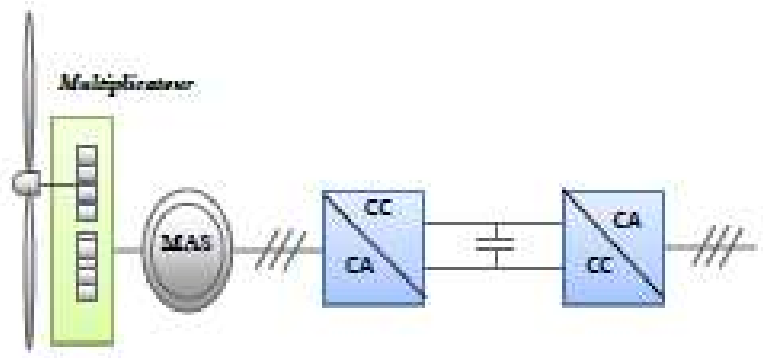


Figure 1.6 Chaine de conversion avec une génératrice asynchrone et convertisseurs statiques



Fig1 .7 system éolien

1.3.2.2 Le générateur photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène, les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant : d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque. Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier le pair électron / trou créées est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction P-N. D'autres structures peuvent également être utilisées [21].

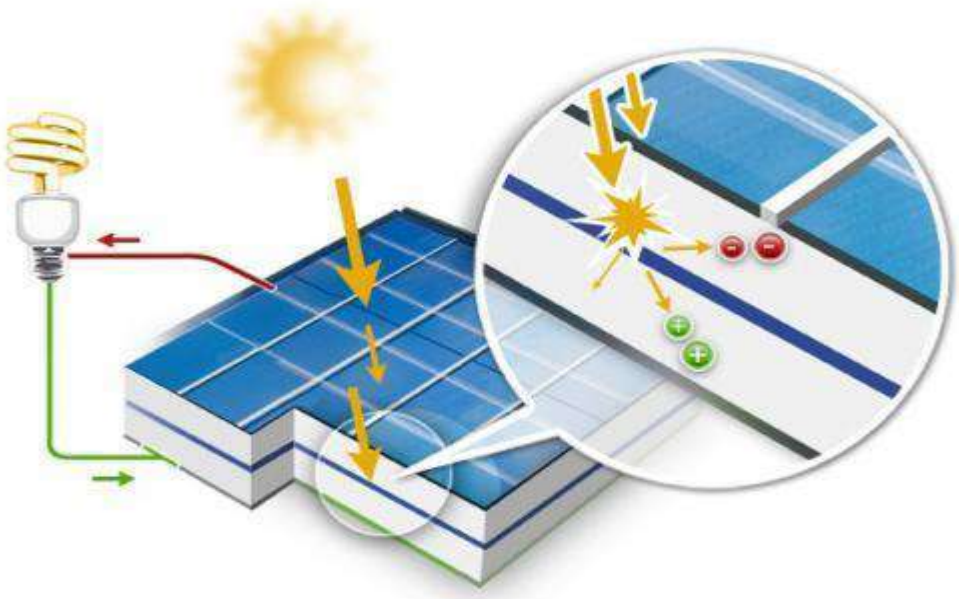


Figure 1.8 Principe du fonctionnement d'un GP

En parallèle avec l'installation des générateurs éoliens, on va citer quelques endroits où l'installation des PV fait partie de la production énergétique.



Figure 1.9 Panneaux solaire installé à:a) Rope Marina b)Parker Ranch c) Brazil

1.3.2.3 Générateur diesel :

Dans le cas des installations à sources d'énergies renouvelables autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du réseau est liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré. Les réseaux de courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectés fournissent pour leurs charges, deux formes d'énergie : active et réactive. Quand le générateur diesel fournit de l'énergie au réseau, il sera connecté généralement à un bus CA. Dans ce cas, un système de commande doit être utilisé pour une distribution correcte de la puissance fournie par les générateurs diesels [20].

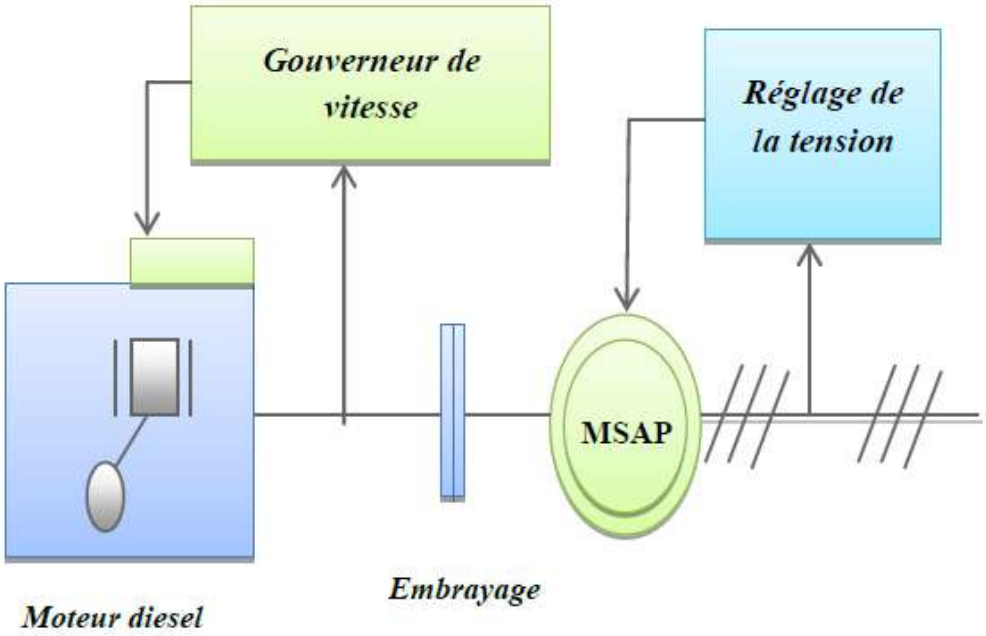


Figure 1.10 Configuration de générateur diesel

1.3.2.4 Batteries de stockage :

Bien que le développement scientifique se poursuive, le stockage de l'énergie électrique est toujours un défi. L'utilisation d'une batterie est très importante dans tous les systèmes hybrides. Le système de batterie permet de résoudre l'inconvenant majeur des énergies renouvelables celle de non continuité de production de l'énergie dans des situations spécifiées, les batteries construit par l'acide et du plomb compromet l'efficacité à être chargé et déchargé pour une longue période ce qui les rend idéales à l'application avec des systèmes des énergies

renouvelables. Actuellement, les batteries plomb-acide ont une efficacité allée retour d'environ 75% et une espérance de vie de 20 ans [22].

1.3.2.5 Système de supervision :

Pour bien maitriser la commande d'un système hybride on doit appliquer avec lui un système de supervision, cet outil nous permet de bien pouvoir englober tous les informations des composants de système, parfois la commande est intégrée individuellement pour les déférents éléments comme les batteries des charges qui incluent un système de commande pour empêcher la surcharge des batteries.



Figure 1.11 **Système de supervision**

Dans la même vision et dans [21] les auteurs ont proposé plusieurs méthodes de commande et de supervision pour un système hybride, afin de faire une interaction entre un superviseur et un processus ce qui prend un modèle plus proche du système réel. Les travaux ont été faits pour une modélisation et analyse d'une stabilité d'un système hybride.

Les aspects théoriques ont été utilisés avec des réseaux de petri et de logique flou pour un apprentissage afin de bien vouloir maitriser le modèle de supervision et faire l'appliquer pour résoudre les problèmes de stabilité.

1.3.2.6 Les convertisseurs :

Leur utilité sert à charger les batteries de stockages et faire la conversion électrique par la transformation de CC au CA et inversement, dans la structure des SH on trouve trois types de convertisseurs les redresseurs, les hacheurs et les onduleurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA, ce sont des appareils relativement simples, pas chers et a bon rendement.

Les onduleurs sont des convertisseurs CC/CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer le fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur ; Ceux-ci sont les plus flexibles, mais aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sont réalisées par un seul appareil.

Les hacheurs sont des convertisseurs qui permettent de réaliser la conversion CC /CC pour adapter la tension entre deux sources [23].

1.3.2.7 Les charges :

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe deux 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 de courant pendant les changements dans le fonctionnement de système [20].

1.4 STRUCTURE DES SYSTEMES HYBRIDES :

Les systèmes hybrides d'énergie électrique 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. Les sources d'énergies 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'énergies hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés [24]. On trouve plusieurs structures des systèmes hybrides pour une génération d'énergie électrique parmi eux : [13]

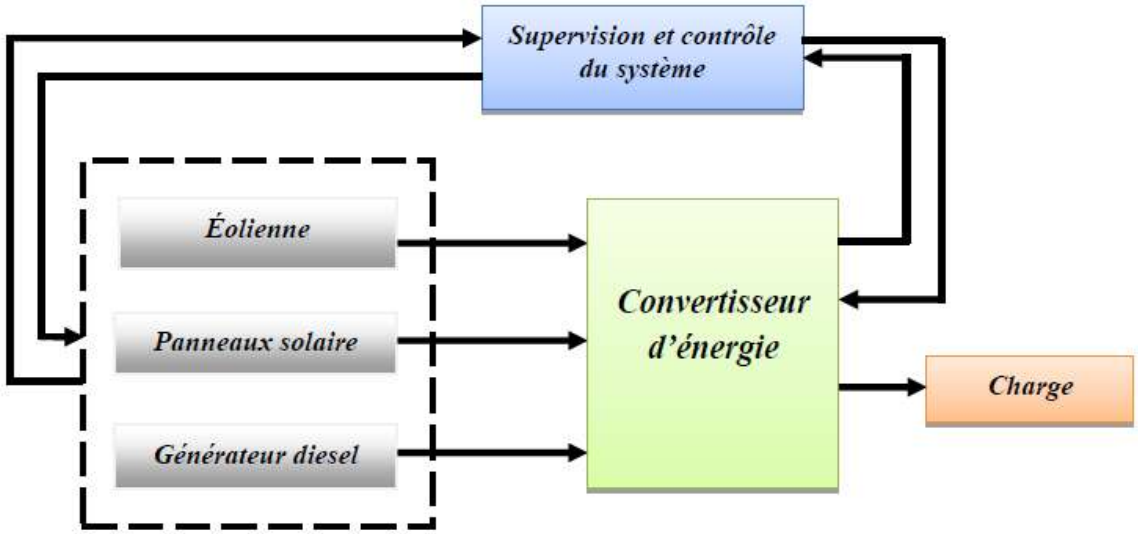


Figure 1.12 Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge

1.4.1 Système hybride à base d'énergies renouvelables primaire seulement :

Dans ce type de structures deux ou plusieurs sources renouvelables peuvent être associées à des avantages complémentaires. Par exemple si on prend le système PV-Eolien qui est souvent utilisé, on remarque que les panneaux photovoltaïques fournissent de l'énergie la journée et les éoliennes la produisent à la force du vent dans la nuit.

Certains travaux prennent la modélisation et l'analyse des systèmes pareils. Dans [25] et [26] les auteurs présentent une étude d'optimisation pour un système éolien photovoltaïque. Une modélisation du même système est présentée par T. Jacob et S.Arundans [27] ; les auteurs ont utilisés une nouvelle technologie pour un convertisseur utilisé afin d'alimenter la charge par les sources d'énergie séparément ou bien simultanément. Dans [28] M. Muralikrishnaetal présentent un système éolien photovoltaïque pour une utilisation dans des zones rurales Dans ce cas et en raison de la disponibilité intermittente des énergies renouvelables, des unités d'alimentation de secours sont généralement intégrées comme le générateur diesel, le micro turbine à gaz et les piles à combustible pour avoir une alimentation sans interruption et permanente. Ce système peut associer plusieurs types de sources d'énergies à fin de construire un système plus puissant plus fiable et plus sécurisé. Le fameux système inclut dans cette catégorie et le système hybride éolien photovoltaïque diesel. Dans l'article [17] Rekiouet al présentent une étude de gestion d'énergie pour les différentes sources, assurée par un outil qui commande l'ouverture et la fermeture des commutateurs selon les conditions météorologiques. Dans [29] les auteurs présentent le même système pour l'alimentation d'un village à la Saudite Arabie et dans [30] pour une implémentation de système hybride dans le sud du Malaysia présentée par Mei Shan Nganet al.

1.4.3 Système hybride à base d'énergie renouvelable avec un système de stockage :

L'association des batteries de stockage d'énergie avec des sources d'énergies renouvelables peuvent assurer la fiabilité et la sécurité du système de production d'énergie décentralisée, tout en maximisant les avantages provenant de sources renouvelables.

Une modélisation de ce système est présentée dans les articles [31] et dans [32] pour une installation autonome. Un autre travail intéressant fait partie de l'article [22] présenté par T. R. Mtshaliet al dans le cadre d'une modélisation et une simulation d'un système éolien photovoltaïque associé à des batteries. Les résultats de ce travail montrent que le système spécifié est délicat et puissant. Il est bien opérationnel dans des zones isolées, il requit un moins travail de maintenance et une stabilité remarquable avec une intégration d'un nouvel bus de control.

1.5 CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYBRIDES :

Le champ d'application des systèmes hybrides est trop vaste à cause des multiples structures, cette richesse en structure mène la tache de classification des systèmes un peu compliqué, on peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance selon le tableau suivant [20].

Puissance du SH en KW	Application
Faible <5	Système autonome : station de télécommunication, pompage de l'eau, autres application isoles
Moyenne entre 10 et 250	Micro réseaux isoles : alimentation d'un village isoles, des zones rurales ….
Grande>500	grand réseaux isoles

Tableau 1.1 classification des SH par Ganne de puissance

Si on prend l'exemple d'un système hybride éolien-diesel, on peut voir une classification particulière qui sépare ses générateurs selon le taux de pénétration de l'énergie éolienne et donne leurs caractéristiques de fonctionnement par le tableau suivant donnant trois types [33].

		Pénétration	
		Pic instantané	Moyenne annuelle
Faible	-Gd fonctionne sans arrêt. -la production éolienne réduit la charge du diesel -toute l'énergie éolienne aimante la charge principale. -il n ya pas de système de supervision	<50%	<20%
Moyen	-GD fonctionne sans arrêt -commande relativement simple -pour des niveaux élevés d'énergie éolien, des charge secondaires sont repartes pour assurer une charge suffisante pour le diesel ou la production éolien et réduite	<50%-100%	<20%-50%
Elevé	-GD peut être arrête en fonctionne de la production éolienne -système auxiliaires pore contrôler la tension de la fréquence -commande complexe	<100%-400%	<20%-150%

Tableau 1.2 Classification des systèmes Eolien-Diesel basés sur le taux de pénétration de L'énergie Eolienne

1.6. PROBLEMES RENCONTRES DANS LE FONCTIONNEMENT DES SH :

Plusieurs problèmes peuvent se manifester durant le fonctionnement du système hybride, les causes sont nombreuses mais en général sont liées aux :

- Variations de l'énergie d'origine renouvelable.
- Manque de connaissance dans le domaine de la quantité de l'énergie en réseau fiable.

La solution aux variations brusques de changement de demande de l'énergie par la charge pour un système SH réside dans le fonctionnement parallèle des générateurs à énergies renouvelables avec les générateurs diesels. Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesel, ces derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse, mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible. Ainsi et au but de garder un moteur

diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consommation de carburant non négligeable [24].

Le fonctionnement de générateur renouvelable peut causer des problèmes aux systèmes SH si le démarrage est influencé par des perturbations externes ou bien internes. Dans ce cas la production de l'énergie électrique peut-être connu des changements rapides ce qui résulte des variations de tension et de fréquence impliquant une mauvaise qualité d'énergie qui peut détruire des appareils électroniques sensibles.

Un autre problème peut persister dans le cas où la production de l'énergie électrique par les générateurs renouvelables est suffisante à la demande de la charge. Dans ce cas la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesels en intermittence. Ces générateurs démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation de l'énergie renouvelable et de la charge.

Parfois la production de l'énergie renouvelable soit plus importante que la consommation de l'énergie, la présence d'un système de stockage comme les batteries peut se fonctionner en faveur. Rendu compte que pour un système sans stockage l'utilisation d'une charge de délestage est indisponible afin de maintenir l'équilibre énergétique et la stabilité de tension et de fréquence. Plusieurs études et recherches ont était élaborer afin de comprendre et trouver des solutions aux problèmes de fonctionnement des SH.E. Muljadiand H.E. McKennadans [35] ont fait un travail d'analyse concernant un type de SH éolien diesel, ils ont trouvé que plusieurs facteurs contribuent à la fluctuation de voltage parmi eux :

- Une chute de tension causée par les surtensions des courants de charges.
- Le démarrage de machine asynchrone dans l'éolienne produise une puissance réactive jouant un rôle de déséquilibrage de puissance dans le système. L'utilisation d'une MAS de petite taille en la démarrons en douceur peut supprimer le problème.
- Des variations en fréquence lorsque l'éolienne produit plus de puissance que nécessaire, dans ce cas le moteur diesel perd le contrôle de sa vitesse de rotor.

De nombreuses solutions techniques peuvent être mises en œuvre pour remédier aux problèmes ci-dessus. Toutefois dans toute production d'électricité, les implications économiques des solutions doivent être examinées très attentivement. Dans le même aspect la tache de diagnostic des systèmes hybrides est trop importante pour trouver des solutions aux problèmes qui apparaissent dedans les systèmes SH.

Dans [36] l'auteur a bien présenté des méthodes de diagnostic des systèmes hybrides basés sur l'utilisation d'un modèle afin d'atteindre un objectif de diagnostiquer les problèmes à partir de la connaissance structurelle, comportementale ou fonctionnelle du système, en représentant ces connaissances séparément de la connaissance sur la tâche de diagnostic.

Le travail qu'il a fait est devisé en deux étapes, La première étape consiste à détecter à l'aide d'une classification floue, les fautes qui présentent les mêmes symptômes à partir d'une connaissance préalable des états de défaillance obtenues par apprentissage afin de réduire les chemins ou les scénarios à explorer lors de la deuxième phase. La deuxième étape sert à diagnostiquer la faute parmi celles détectées à l'étape précédente.

1-7-Systèmes hybrides

Un système hybride a sources d'énergie renouvelable(SH) est un système électrique, comprenant plus d'une source déneige, parmi les quelles un au moins est renouvelable (lazarov et al.2005), la puissance fournée par GPV et variable et non garantie produit pas les sources d'énergie renouvelable, peut être raccorde par un couplage des sources approvisionnement et la formation dit système(SH).

a- LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES HYBRIDES GENERALITES

Dans les zones rurales, le coût élevé de l'extension du réseau électrique oblige les institutions à envisager d'autres solutions alternatives. Parmi elles, on trouve l'utilisation de groupes électrogènes (GE) diesel souvent considérés comme une solution économique et fiable, mais générant quelques nuisances d'ordre environnementale et pratique pour l'usager :

- coûts élevés de fonctionnement,
- dépendance énergétique (pays de l'OPEP),
- problème d'approvisionnement en carburant (éloignement des fournisseurs de carburants);
- maintenance compliquée et coûteuse,
- faible durée de vie (environ 5 ans et parfois moins),
- impossibilité d'une production électrique continue sur 24 heures (ou nécessité de disposer de plusieurs GE),
- nuisances sonores et problèmes de gestion des huiles de vidange.

Les systèmes photovoltaïques (PV) fournissent de l'électricité de manière ininterrompue, sans bruit, ni nuisances environnementales (excepté la présence des accumulateurs électrochimiques difficiles à recycler). Faciles à installer, ils nécessitent peu de maintenance et font preuve d'une grande fiabilité. Leurs problèmes résident dans le coût d'investissement élevé nécessaire à leur installation et la limitation de la charge électrique à satisfaire.

Les systèmes photovoltaïques (PV) peuvent être associés à d'autres sources d'énergie, la plupart du temps contrôlable comme un groupe électrogène, mais parfois aléatoires .Dans cette configuration, association de plusieurs sources, les avantages de chacune des sources d'énergie sont ainsi ajoutés :

- le système photovoltaïque réduit la consommation, le temps de fonctionnement et donc de la maintenance du groupe,
- la présence du stockage par batteries réduit la puissance nominale du groupe,
- la présence du groupe réduit la taille du champ photovoltaïque et la capacité de stockage des batteries diminuant ainsi le coût du système,
- la fiabilité du système global est augmentée,
- les puissances et les énergies mises en jeu sont plus importantes et la charge à alimenter plus élevée. Se posent alors les problèmes suivants :
- choisir correctement la taille de chaque composant du système énergétique,
- optimiser la gestion de l'énergie au sein de ce système,
- et enfin, rechercher la configuration optimale, c'est-à-dire le coût de production minimal.

b- Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides [37]

Le champ photovoltaïque génère du courant continu, mais la consommation domestique exige le plus souvent du courant alternatif, c'est pourquoi il est souvent nécessaire d'adjoindre au système un onduleur. De cette façon, la génératrice photo voltaïque travaille en parallèle ou en alternance avec le générateur diesel. On distingue les configurations suivantes :

- Système hybride PV - Diesel série
- Système hybride PV - Diesel commuté
- Système hybride PV - Diesel parallèle.

Nous présenterons ci-après, les avantages et les inconvénients de chaque configuration.

1-Configuration série

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée et Puis convertie de nouveau en alternatif pour être fournie à la charge, ce qui implique

des pertes de conversion significatives. Lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie Stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le diesel est débrayé.

La puissance en courant continu fournie par le champ et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. De plus, il faut noter que dans la plupart des systèmes de ce type, le rendementdu système est diminué à cause du transit d'une grande partie de l'énergie par la atterrie, augmentant ainsi le nombre des cycles charge – décharge (Fig. 1.13).

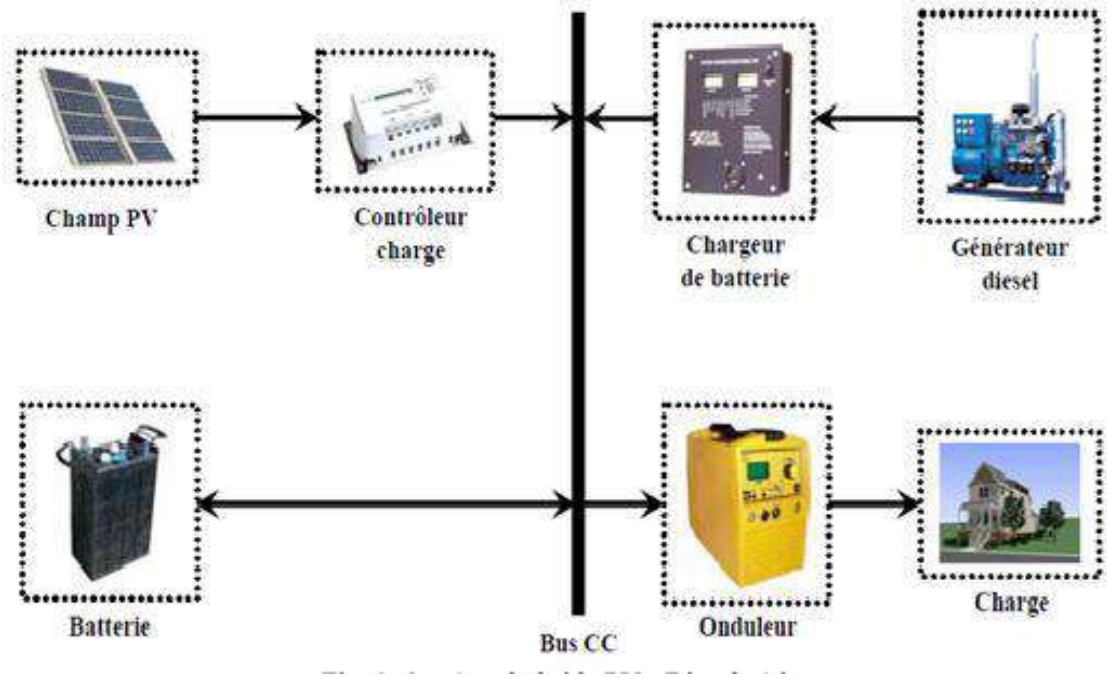


Fig. 1.13 System hybride PV - Diesel série

Le régime de fonctionnement du générateur dépend d'une part de la demande d'énergie et D'autre part, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. La batterie se Charge quand de l'énergie est produite en excès par le champ. Au contraire, quand l'énergie Produite n'est pas suffisante, alors la batterie se décharge. Le contrôleur solaire prévient la Surcharge de la batterie et sa décharge trop profonde. On peut également faire appel à un Convertisseur CC/CC (MPPT) qui permettra au champ PV de faire fonctionner le champ à son Point maximum de puissance. Le système hybride peut travailler de manière automatique si on Ajoute un système de mise en marche et arrêt du générateur diesel.

Les avantages sont :

- La puissance du GE peut être optimale lorsqu'il approvisionne la charge et qu'en plut-il
- Charge la batterie jusqu'à un niveau de charge de la batterie de 70 - 80 %.
- Le système électrique est simplifié à cause de l'absence de changement de la source

- D'électricité en courant alternatif.
- La mise en marche du générateur diesel ne provoque pas d'interruption de l'alimentation
- de la charge.
- Grâce à l'onduleur, on peut obtenir différentes formes du courant selon les besoins
- (Sinusoïdal, carré,…).

Les inconvénients sont :

- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel, c'est pourquoi il
- Doit être dimensionné pour satisfaire la puissance de pointe de la charge.
- La durée de vie de la batterie est diminuée à cause de l'augmentation du nombre des
- Cycles charge - décharge.
- Le rendement total du système est faible à cause des pertes de conversion dues au fait que
- Le générateur diesel ne peut pas fournir son énergie directement à la charge.
- La détérioration de l'onduleur provoque l'arrêt complet de l'alimentation.

2-Configuration commutée

Cette configuration est très fréquemment utilisée malgré ses limitations opérationnelles. La charge peut être alimentée soit par le générateur diesel, soit par l'onduleur alimenté par le photovoltaïque ou la batterie mais le fonctionnement en parallèle n'est pas encore possible.

La batterie peut être chargée de nouveau par le champ PV et le diesel. L'avantage principal de cette configuration par rapport à la configuration série consiste dans l'élimination de la conversion de l'énergie fournie par le générateur d'où l'élimination des pertes supplémentaires de conversion. En principe, la puissance produite par le générateur est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour la charge de la batterie. Comme dans le cas précèdent, le diesel est arrêté, lorsque la demande est faible et peut être satisfaite par le champ photovoltaïque et la batterie. La complexité du système implique l'utilisation d'un contrôle automatique à la place de la commande manuelle (Fig. 1.14).

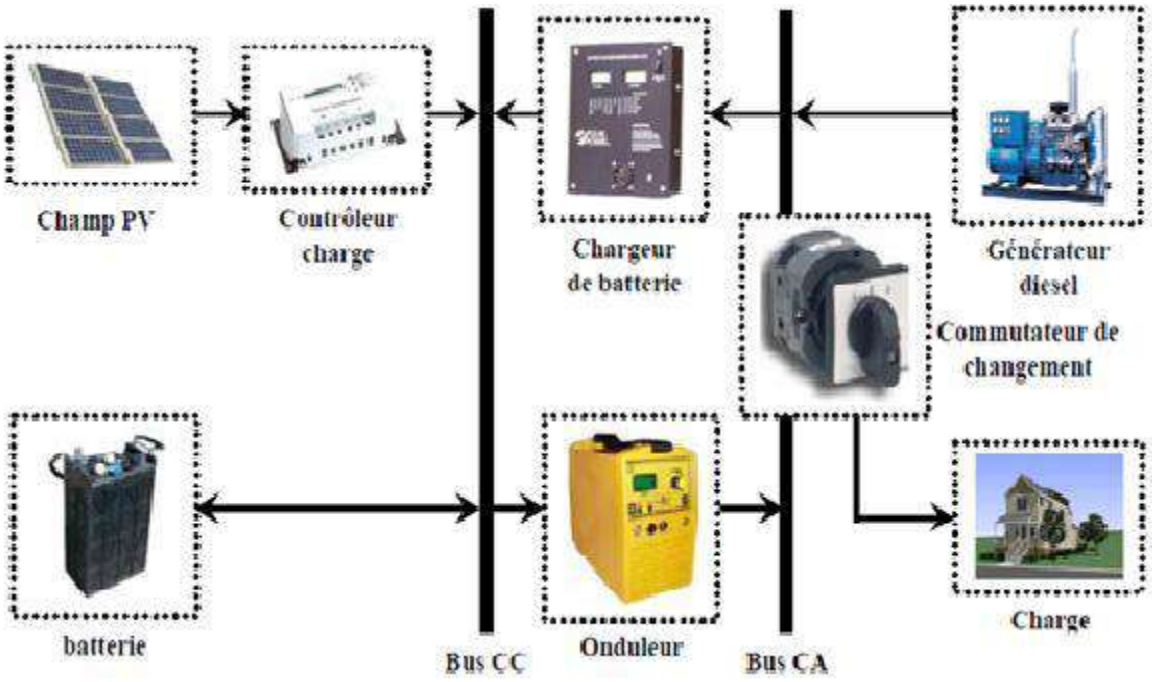


FIG 1.14 système hybride PV- GD commute

Les avantages de cette configuration sont :

- Différentes formes du courant sont possibles, selon les besoins (sinusoïdal, signal carré,.).
- Le générateur peut fournir l'énergie produite directement à la charge, ce qui augmente le rendement du système et diminue la consommation de carburant. Par contre, les inconvénients sont :
- Il y a une coupure instantanée, lors de la commutation des sources alternatives.
- Le générateur et l'onduleur sont dimensionnés pour la puissance pointe de la charge, ce qui réduit leurs rendements en fonctionnement à faible charge.

3-Configuration parallèle

Dans la configuration parallèle, toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande mais également suppléer les pointes en combinant les sources.

L'onduleur bidirectionnel peut fonctionner, soit comme un redresseur lorsqu'il y a un excès d'énergie produite par le diesel pour charger la batterie, soit comme un onduleur, pour transférer l'énergie fournie par le champ photovoltaïque ou par la batterie vers la charge. Grâce à l'onduleur bidirectionnel, le système parallèle peut alimenter une charge supérieure à la puissance nominaledu générateur (Fig. 1.15)

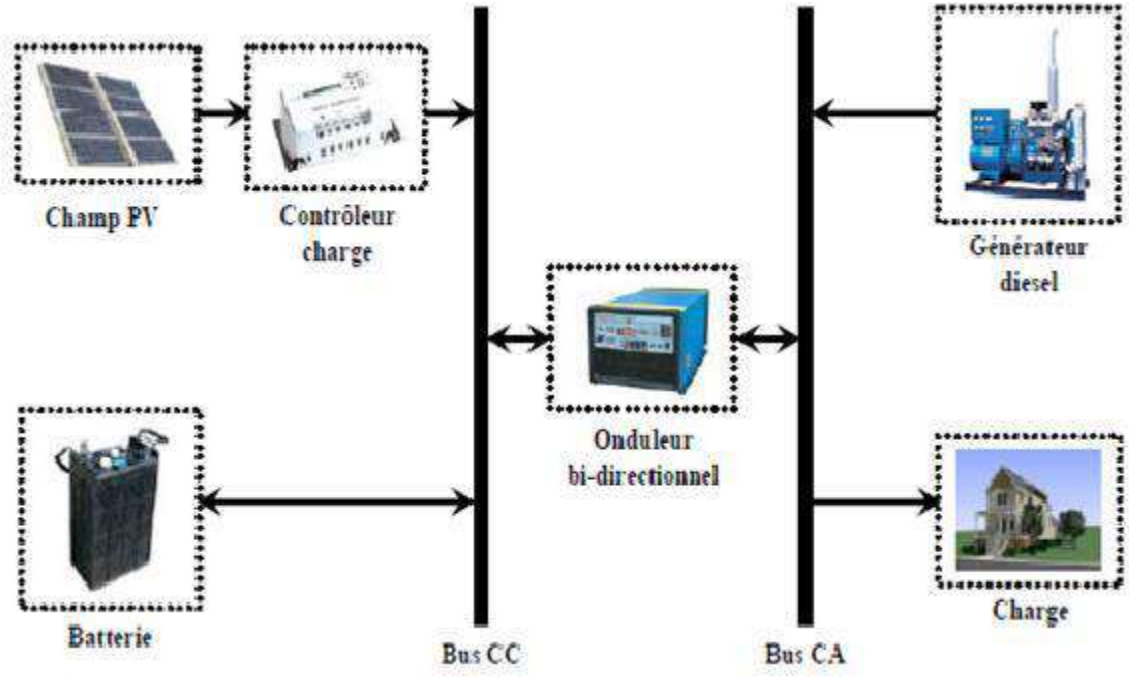


Fig. 1.15 Système hybride PV-gd connecte parallèle

Ce système possède deux améliorations par rapport aux configurations série et commutée. L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul. En principe, la capacité du système est deux fois plus grande dans cette configuration. La possibilité de synchroniser l'onduleur avec le générateur diesel permet une meilleure flexibilité du système et de plus, la puissance nominale du générateur diesel peut être diminuée, ce qui augmente la partie de l'énergie directement utilisée d'où on obtient une augmentation du rendement du système.

En utilisant un seul convertisseur comme onduleur et redresseur, on diminue le nombre des éléments dans le système. De plus, les coûts du câblage et l'installation du système peuvent être diminués par l'intégration de toutes les composantes dans une seule unité, ce qui est avantageux, mais peut empêcher l'augmentation de la taille du système par l'ajout de nouveaux composants si la demande en électricité augmente.

Avantage :

- L'alimentation de la charge peut être faite d'une manière optimale.
- Le rendement du générateur diesel peut être augmenté.
- Le besoin d'une maintenance du diesel est réduit.
- Les puissances nominales des différents éléments peuvent être diminuées par rapport aux
- puissances nominales dans les autres configurations, en alimentant toujours la même charge.

Désavantage :

- Le contrôle automatique est indispensable pour le fonctionnement du système.
- L'onduleur doit fournir un courant sinusoïdal pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible.
- Le fonctionnement du système n'est pas évident pour une personne non formé.

Dans ce papier, nous avons choisi d'étudier un système hybride photovoltaïque fonctionnant selon la configuration série et nous étudierons les différents flux d'énergie qui prennent place au sein de ce système.

C- Classification

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Est les plus répandues sont présente la suite :

- **Le régime du fonctionnement :** Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi connectes réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays.

Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isole ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situes dans des sites éloignes du réseau électrique : refuges de montagne, iles, villages isoles, panneaux de signalisation routière etc.

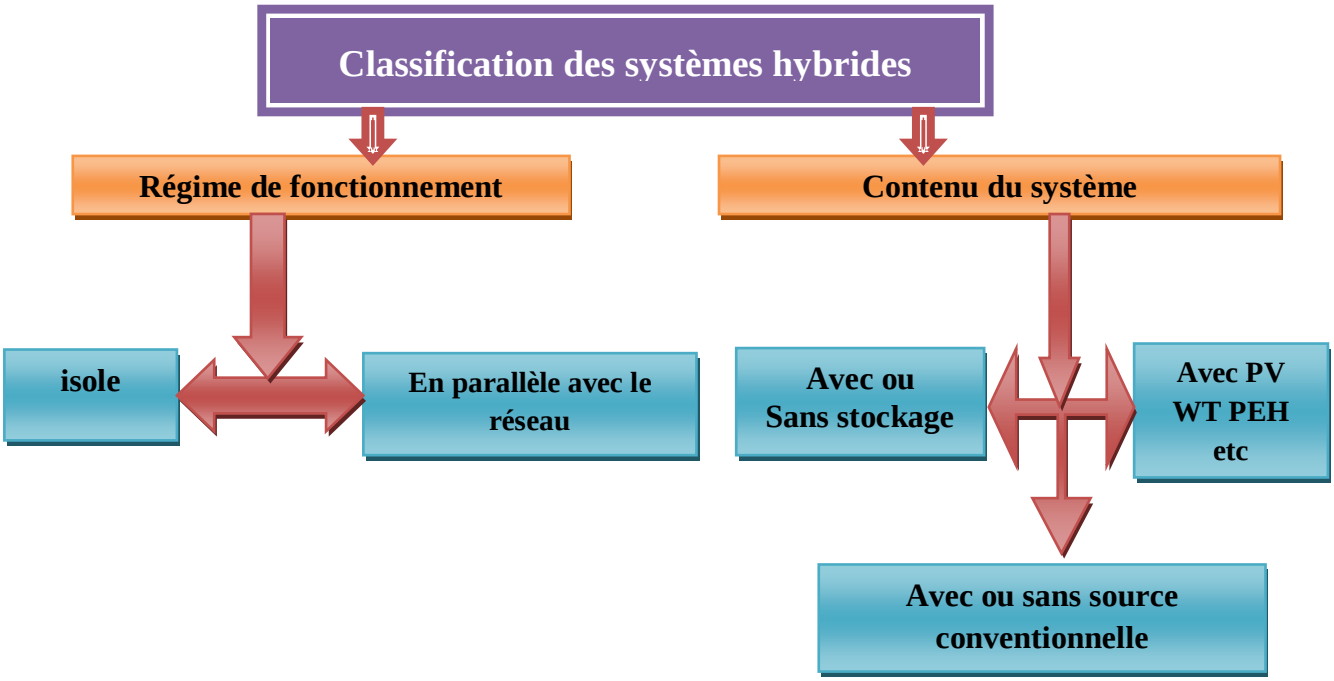


Fig.1.16 : Classification des systèmes hybride

1.9. CONCLUSION :

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné une présentation détaillée des différentes sources d'énergies renouvelables qui existent, tel que l'énergie hydraulique, solaire, éolienne, biomasse et géothermique…etc. Dans la seconde partie nous avons étalé la définition et les différentes structures des systèmes hybrides de génération de l'énergie électrique, où nous avons constaté que l'avantage principal de l'utilisation des sources renouvelables dans la construction d'un système hybride peut aider à résoudre plusieurs problèmes qui apparaissent au niveau de l'impact de l'utilisation des ressources classiques sur l'environnement et plus précisément comme une émission de gaz à effet de serre.

2.1. Introduction

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus abondante parmi les énergies renouvelables. L'électricité photovoltaïque est obtenue par transformation directe de la lumière des rayonnements solaires en électricité, au moyen de cellules photovoltaïque. [38]

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la conversion photovoltaïque ; dans un premier temps, nous décrirons brièvement la structure et le fonctionnement des cellules et des générateurs photovoltaïques (GPV) ; dans un environnement Matlab Simulink. Ainsi, nous étudierons l'influence des paramètres météorologiques (Température et Eclairement) et des paramètres internes (résistances série et shunt) sur le comportement électrique d'une cellule solaire. Deux modèles de (GPV) seront abordées dans ce chapitre, à savoir, le modèle à une seule exponentielle et le modèle à deux exponentielles.

2.2. Modélisation d'une cellule photovoltaïque

L'objectif, est d'obtenir la caractéristique de la puissance fournie au bus continu, P_{PV}, en fonction des conditions météorologiques et électriques, c'est-à-dire l'éclairement dans le plan des panneaux, leur température ainsi que le niveau de tension du bus continu.

2.2.1. Modélisation d'une cellule photovoltaïque à une seule diode

Nous souhaitons obtenir les caractéristiques tension/courant et tension/puissance et déterminer la puissance maximale que peuvent fournir chacun des deux groups de panneaux, pour un ensoleillement et une température donnés. Un travail de comparaison, en terme de simplicité, de temps de calcul et de précision a été effectué en [39] et sa nous a permis de choisir le model a une diode pour notre modélisation.

Il a également été constaté que, les modèles sont très bons pour des ensoleillements supérieurs à la centaine de Watts par mètre carré et que les erreurs n'excédant pas 6% pour des ensoleillements plus faibles.

2.2.1.1. Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque à une diode

Le modèle d'une cellule à une diode est caractérisé par son schéma électrique équivalent. La source de courant modélise la convection du rayonnement solaire en énergie électrique, la résistance shunt R_{sh} représente l'état de la surface à la périphérie de la cellule, la résistance série R_s correspond au diverses résistance de contact et de connexion réalises sur une cellule et la diode en parallèle modélise la jonction PN. Ces deux résistances représentent les différentes pertes au niveau d'une cellule. [40]

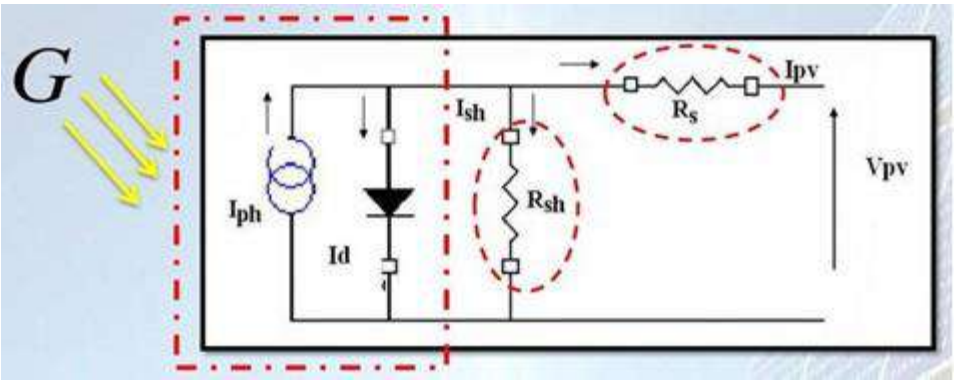


Figure 2.1: Schéma équivalent d'un panneau photovoltaïque à une diode.

2.2.1.2. Modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque à une diode

Le modèle mathématique est donné par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad , \qquad I_d = I_s \left[e^{\frac{q(V+R_S.I)}{\gamma .K.T_C}} - 1 \right] \tag{2.1}$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{\gamma \, . k . T_C} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s . I}{R_{sh}} \tag{2.2}$$

q=1,610^{-19}Cb. K=1,3810^{-23}j/^{0}K.

$$I_{ph} = . \frac{G}{G_0} \left[I_{ph0} + mu I_{sc} . (T - T_0) \right] \tag{2.3}$$

$$I_s = I_{0ref} . \left(\frac{T_C}{T_0} \right)^3 . exp\left(\frac{q . E_g}{n . k} \times \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_C} \right) \right) \tag{2.4}$$

I_{0ref} : Courant de saturation de référence de la diode (A).

$mu I_{sc}$: Coefficient de température sur I_{sc} (mA/^{0}K).

2.2.2. Modélisation d'une cellule photovoltaïque à deux diodes

2.2.2.1. Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque à deux diodes

C'est le modèle qui décrit le mieux la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque Figure 2.2, trois mécanismes essentiels sont pris en compte [38]:

- ✓ Le mécanisme de recombinaisons dans les régions quasi-neutres, modélisé par un terme exponentiel I_{d1} comportant un courant de saturation I_{s1}.
- ✓ Le mécanisme de recombinaisons dans la zone de charge d'espace, représenté par

un terme exponentiel I_{d2} comportant un courant de saturation inverse I_{s2}.

- ✓ Le troisième mécanisme pris en compte est l'effet Joule qui se traduit par des pertes d'énergie dans les résistances série R_s et shunt R_{sh}.

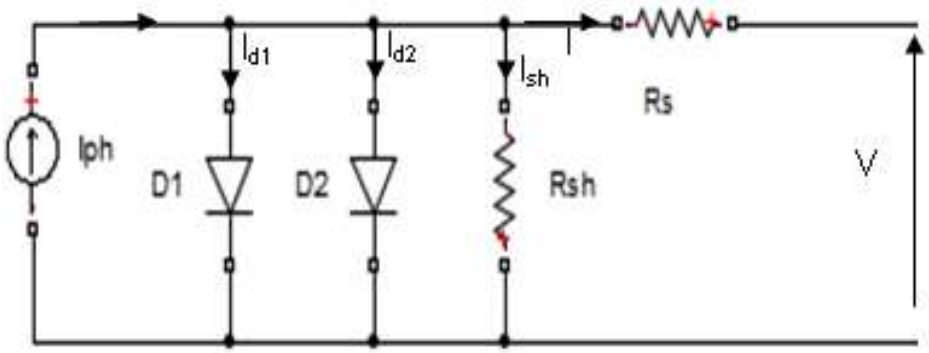


Figure 2.2: Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire à deux exponentielles.

2.2.2.2. Modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque à deux diodes

Le modèle mathématique est donné par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{Rsh} \tag{2.5}$$

$$I = I_{ph} - I_{s1}\left[exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{n_1.k.T_C}\right) - 1\right] - I_{s2}\left[exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{n_2.k.T_C}\right) - 1\right] - \frac{V+R_s.I}{R_{sh}} \tag{2.6}$$

$$I_{d1} = I_{s1}\left[exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{n_1.k.T_C}\right) - 1\right], \quad I_{d2} = I_{s2}\left[exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{n_2.k.T_C}\right) - 1\right]$$

$$I_{s1} = K_1.(Tc)^3.exp\left(-\frac{E_g}{k.Tc}\right) \tag{2.7}$$

$$I_{s2} = K_2.(Tc)^{2.5}.exp\left(-\frac{E_g}{k.Tc}\right) \tag{2.8}$$

$K_1 = 1.2\ A/cm^2.K^3$; $K_2 = 2{,}9.10^5\ A/cm^2.K^{\frac{5}{2}}$

Résistance de shunt (Parallèle) : $R_{sh} = R_{sh0}\left[1 + (1-\alpha).e^{-5{,}5\frac{G}{G_0}}\right]$ *avec :* R_{sh0} *:* Résistance parallèle de référence donnée par le constructeur. α =4 pour une cellule au silicium cristaline. α =12 Pour une cellule au silicium amorphe.

2.3 Modélisation d'un générateur photovoltaïque (GPV)

2.3.1. Modélisation d'un générateur photovoltaïque à une seule diode

2.3.1.1 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque à une diode :

Chaque group de panneau est une association série/parallèle de $N_S.N_P$ panneau élémentaires. Si tous les panneaux sont identiques et fonctionnent dans les mêmes conditions, nous obtenons le GPV suivant :

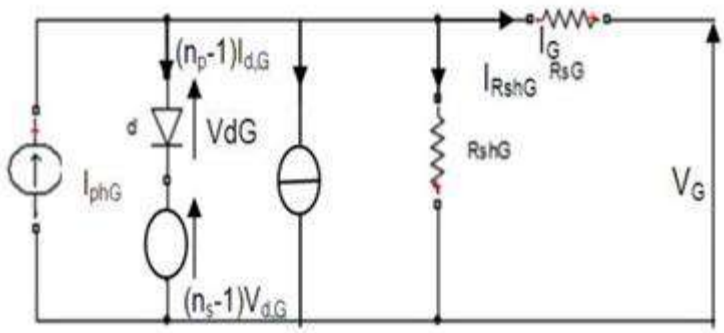


Figure 2.3: Schéma électrique d'un générateur photovoltaïque, modèle 1diode.

2.3.1.2 Modèle mathématique d'un champ photovoltaïque à une diode

Nous adoptons dans ce qui suit, les notations suivantes : [41]

$$I_{ph,G} = n_p.I_{ph}, I_G = n_p.I, I_{d,G} = n_p.I_d, I_{s,G} = n_p.I_s, I_{Rsh,G} = n_p.I_{Rsh}, V_G = n_s.V, V_{d,G} = n_s.V_d \quad (2.9)$$

$$R_{sh,G} = \frac{n_s}{n_p}.R_{sh}, R_{S,G} = \frac{n_s}{n_p}.R_s \quad (2.10)$$

Le courant dans la diode est donné par l'expression :

$$I_{d,G} = I_{S,G}.\left[e^{\frac{q(V_G+R_{sh,G}.I)}{gama.n_S.K.T_j}} - 1\right] \quad , \quad I_{S,G} = P_4.T_j^3 e^{-\frac{E_g}{K.T_j}} \quad (2.11)$$

E_g: Energie de gap, P_4 : paramètre constant, K : Constante de Boltzmann $1{,}3810^{-23}$J/^{0}K ,
gama : Facteur d'idéalité de la jonction.
Nous obtenons alors le courant pour un groupe de panneaux déduit par le schéma de la figure **2.3 :**

$$I_G = n_p.I_{ph} - n_p.I_s.\left[e^{\frac{q.(V+R_s.I)}{n_{cs}.gama.K.T_C}} - 1\right] - \frac{V + R_s.I}{R_{sh}} \quad (2.12)$$

$$I_G = n_p.I_{ph} - n_p.I_s.\left[e^{\frac{q\left(\frac{V}{n_s}+\frac{n_p}{n_s}.R_s.\frac{I}{n_p}\right)}{gama.K.T_C}} - 1\right] - n_p.\frac{\frac{V}{n_s} + \frac{n_p}{n_s}.R_s.\frac{I}{n_p}}{\frac{n_p}{n_s}.R_{sh}} \quad (2.13)$$

$$I_G = I_{ph,G} - I_{d,G} - \frac{V_G + R_{s,G}.I_G}{R_{sh,G}} \quad (2.14)$$

$$I_G = n_p.I_{ph} - n_p.I_s\left[exp\left(\frac{q\left(V_G + R_{s,G}.I_G\right)}{gama.n_{cs}.k.T_C}\right) - 1\right] - n_p.\frac{V_G + R_{s,G}.I_G}{R_{Sh,G}} \quad (2.15)$$

$$I_G = n_p.I_{ph} - n_p.I_s.\left[e^{\frac{q\left(\frac{V}{n_s}+\frac{n_p}{n_s}.R_s.\frac{I}{n_p}\right)}{gama.K.T_C}} - 1\right] - n_p.\frac{\frac{V}{n_s} + \frac{n_p}{n_s}.R_s.\frac{I}{n_p}}{\frac{n_p}{n_s}.R_{sh}} \quad (2.16)$$

$$I_G = n_p.I_{ph} - n_p.I_s.\left[e^{\frac{q.(V+R_s.I)}{n_{cs}.gama.K.T_C}} - 1\right] - \frac{V + R_s.I}{R_{sh}} \quad (2.17)$$

Paramètres externe

Ce sont des paramètres pouvant être détermines à partir des courbes I(V) ou de l'équation caractéristique (2.17). Les plus usuels sont les suivants [42] :

- *Courant de court-circuit I_{CC}*

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (R_s nulle, R_{sh} infini) ce courant s confond avec le photo-courant I_{ph}, dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation (2.10) et on obtient :

$$I_{CC} = I_{ph} - I_s\left[exp\left(\frac{q(R_s I_{CC})}{n_{cs}.gama.k.T_C}\right) - 1\right] - \frac{R_s.I_{CC}}{R_{sh}} \quad (2.18)$$

Pour la plupart des photopiles (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme $I_s\left[exp\left(\frac{q(V+R_s I)}{n_{cs}.gama\ .k.T_C}\right) - 1\right]$ devantI_{ph}.

L'expression approchée du courant de court-circuit est alors celle donnée par l'expression (2.19)

$$I_{CC} \cong \frac{I_{ph}}{1+\frac{R_S}{R_{sh}}} \quad (2.19)$$

- *Tension de circuit ouvert V_{co}*

C'est la tension pour laquelle le courant débité par le GPV est nul (la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur PV. Son expression est déduite de l'expression suivante :

$$0 = I_{ph} - I_s\left[\exp\left(\frac{q.V_{CO}}{n_{cs}.gama.k.T_C}\right) - 1\right] - \frac{V_{CO}}{R_{sh}} \tag{2.20}$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à

$$V_{CO} = \frac{n_{cs}.gama.k.T_C}{q}.ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) \tag{2.21}$$

2.3.2. Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque à deux diodes (GPV)

2.3.2.1. Modèle électrique d'un champ photovoltaïque à deux diodes

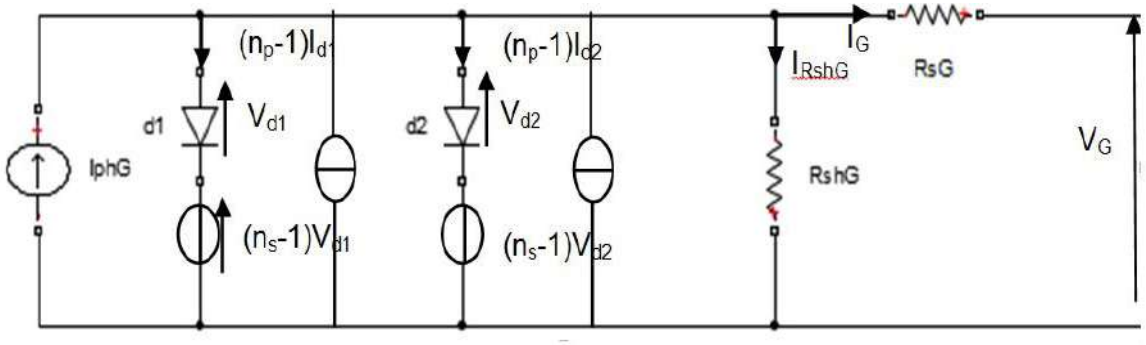


Figure 2.4: Schéma électrique équivalent d'un générateur photovoltaïque

2.3.2.2. Modèle mathématique d'un champ photovoltaïque à deux diodes

Nous adoptons dans ce qui suit, les notations suivantes :

$$R_{sh,G} = \frac{n_s}{n_p}R_{sh} + \frac{n_s}{n_p}R_{sh}(\alpha - 1)e^{-5.5*G/Gref} \tag{2.22}$$

Alors on obtient, une fonction implicite de la forme :

$$I_G = I_{ph,G} - I_{s1}\left[exp\left(\frac{q(V_G + R_{s,G}.I_G)}{gama_1.n_s.k.T_C}\right) - 1\right] - I_{s2}\left[exp\left(\frac{q(V_G + R_{s,G}.I_G)}{gama_2.n_s.k.T_C}\right) - 1\right] - \frac{V_G + R_{s,G}.I_G}{R_{Sh,G}} \tag{2.23}$$

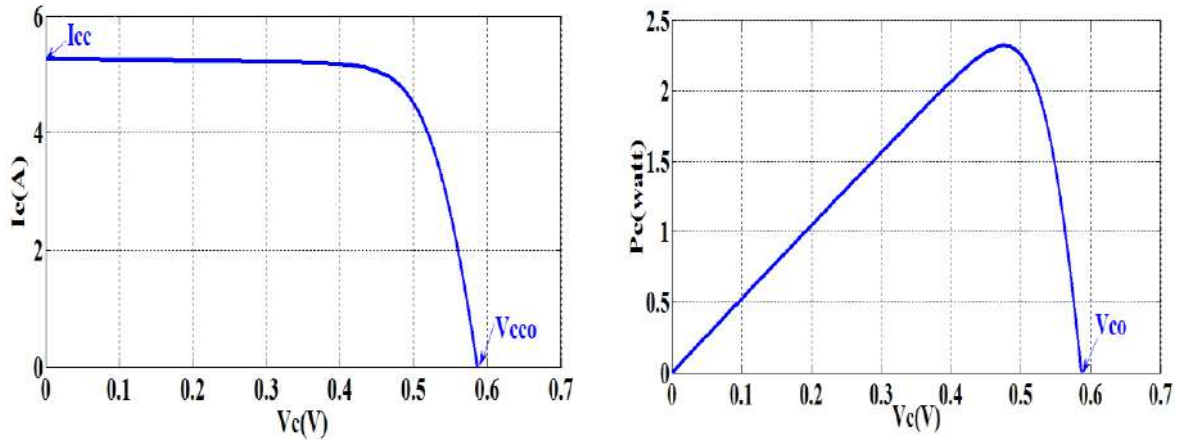
- Caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque (GPV)

Le générateur photovoltaïque est une association série parallèle de nombreux panneaux (Module) photovoltaïque, La caractéristique électrique globale courant/tension du GPV se déduit

donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport n_s parallèlement à l'axe des tensions et de rapport n_p parallèlement à l'axe des courants, n_s *et* n_p étant respectivement les nombres totaux de cellules en série et en parallèle [43].

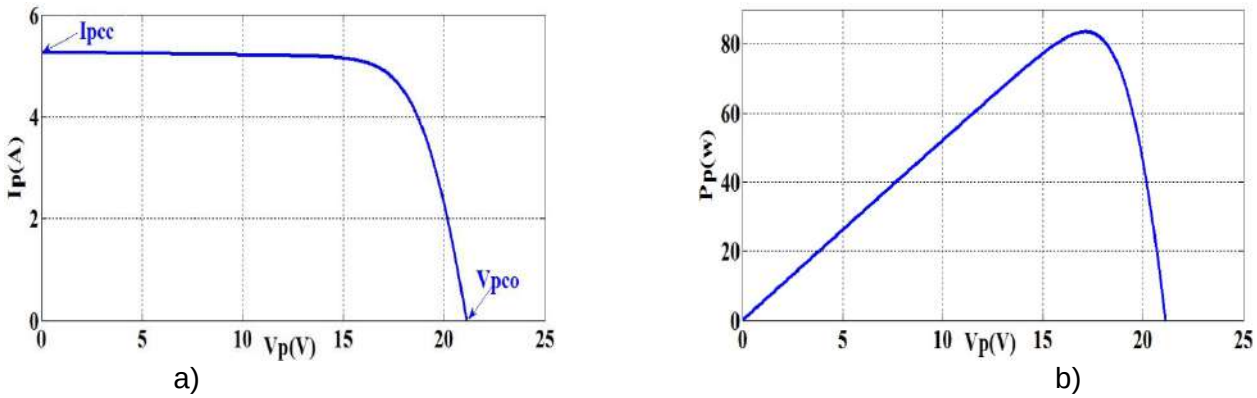
2.4. Résultat de la simulation d'un module PV à une seule diode

L'étude basé sur un module photovoltaïque de type MSX-83. Le générateur est composé de 36 cellules séries, la puissance maximale fournie est 83 wc, les résultats de simulation en MATLAB/Simulink en utilisant les conditions standard (T0=25°C et E0=1000W/m2) pour Rs=0.099Ω et Rsh=200Ω.



a) b)

Figure 2.5: a) Caractéristique courant tension b) puissance tension d'une cellule solaire.



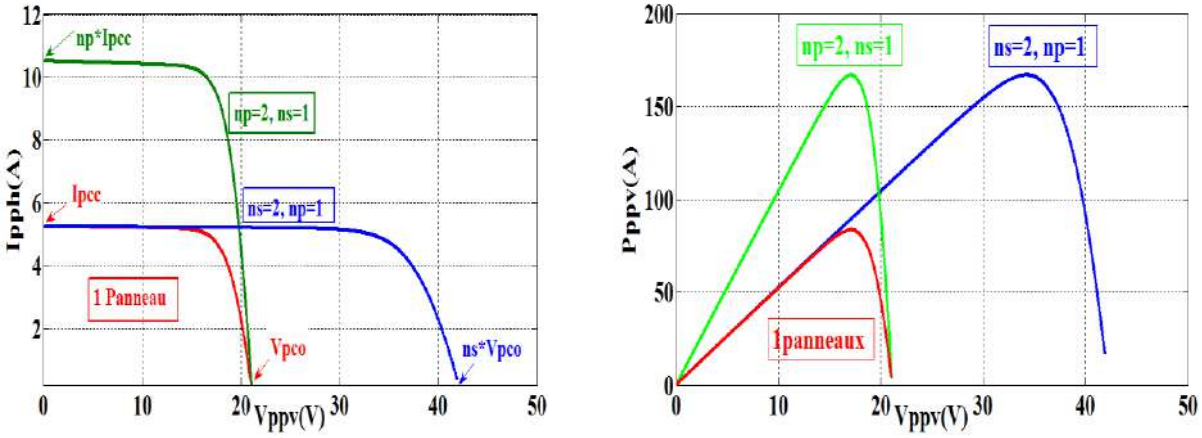
a) b)

Figure 2.6: a) Caractéristique courant tension b) puissance tension d'un panneau PV.

2.4.1. Influence du branchement série parallèle sur les caractéristiques I(V) et P(V)

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné.

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée comme indique la figure suivante.



a) b)

Figure 2.7: a) Influence du branchement série parallèle sur la caractéristiques I(V) et b) sur la caractéristique puissance tension

2.4.2. Influence de l'éclairement

Le photo-courant I_{ph} est pratiquement proportionnel à l'éclairement ou aux flux lumineux G.

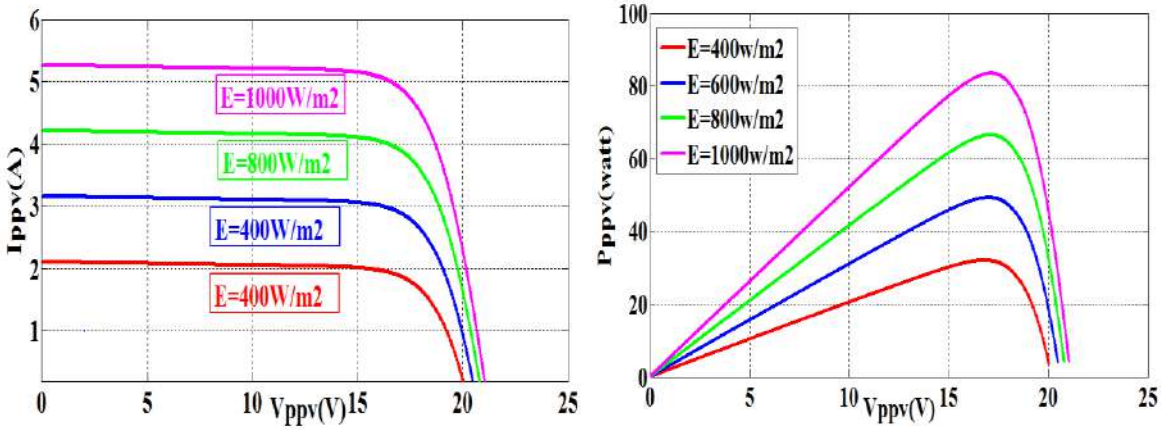
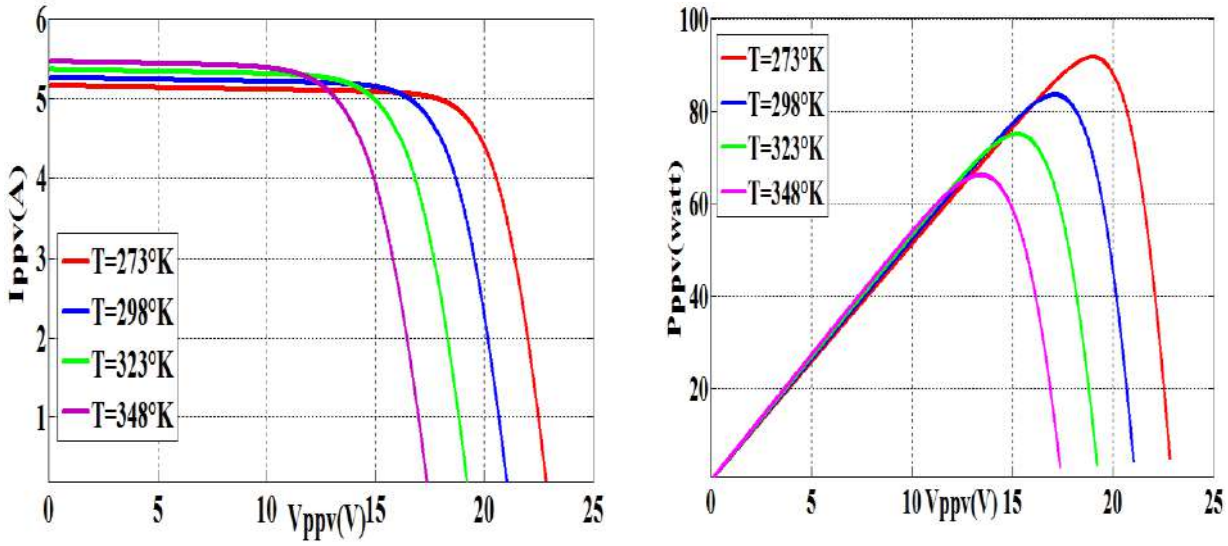


Figure 2.8: Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I(V) et P(V).

Les figures 2.8 représentent les caractéristiques I(V) et P(V) d'un panneau photovoltaïque sous diverses valeurs d'éclairement. A chacune de ces valeurs de G, correspond une puissance électrique maximale que pourrait fournir le panneau. Notons aussi la légère diminution de la tension du circuit ouvert V_{CO}, suite à une chute du flux lumineux.

2.4.3. Influence de la température

Si la température augmente, le photo-courant augmente, implique le courant augmente. Par contre la tension du circuit ouvert V_{CO} engendre une diminution.

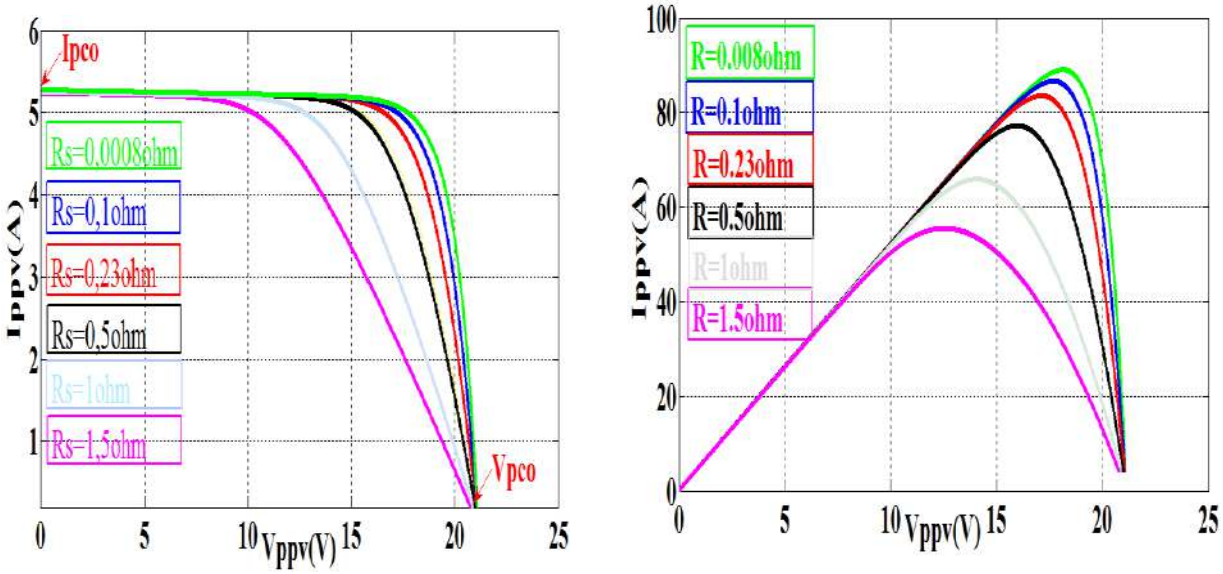


a) b)

Figure 2.9: Influence de la température sur la caractéristiques a) courant tension I(V) et b) sur la caractéristique puissance tension P(V).

L'augmentation de la température se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale disponible. On résume, un niveau d'ensoleillement élevé favorise la production d'électricité par l'effet photovoltaïque, tandis que les températures élevées diminuent le rendement des panneaux.

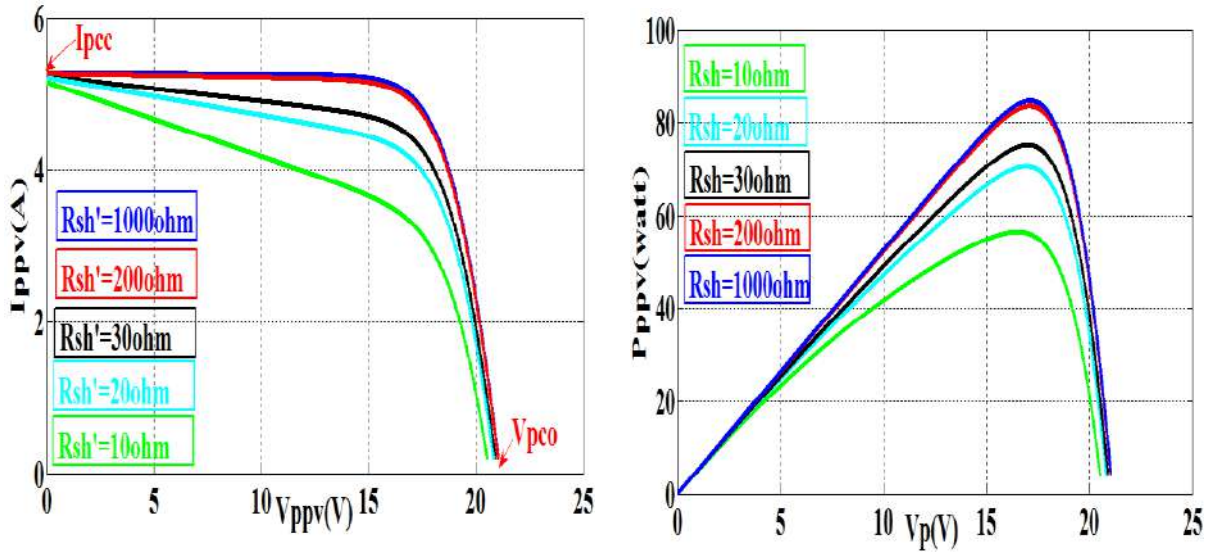
2.4.4. Influence de la résistance série sur la caractéristique I(V), P(V)



a) b)

Figure 2.10: Influence de la résistance série sur la caractéristique a) courant tension I(V) et b) sur la caractéristique puissance tension P(V).

2.4.5. Influence de la résistance parallèle sur la caractéristique I(V), P(V)



a) b)

Figure 2.11: Influence de la résistance série et la résistance de shunt sur la caractéristique I(V) et P(V).

2.5. Système de stockage d'énergie

Les deux types de batteries, utilisés le plus couramment, notamment dans les systèmes photovoltaïques, sont les batteries avec accumulateurs au plomb-acide (Pb acide) et les batteries avec accumulateurs au Nikel-cadmium (Ni-Cd). La batterie au plomb-acide est la plus connue, aussi c'est sur celle-ci que notre étude se base. Le circuit sur la figure 2.12 décrit les caractéristiques d'une batterie plomb-acide d'une manière complète, pourtant très simplifiée. [44].

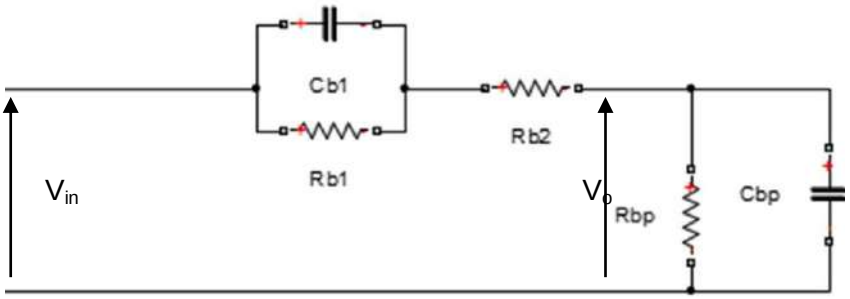


Figure 2.12: Modèle équivalent d'une batterie plomb-acide.

La résistance interne de la batterie est représentée par les deux résistances Rbs et Rb1 en série. La résistance en bloc d'électrolyte et de plaques est représentée par la résistance Rbs, tandis que la résistance Rb1 représente la diffusion d'électrolyte. Ceci représente la tension du circuit ouvert de la batterie dès qu'une charge est reliée, de même on peut observer un saut soudain de tension avec l'application d'un courant de remplissage. C'est le fabriquant qui spécifie les valeurs de ces résistances et capacités.

La décharge spontanée, est représentée par la résistance Rbp parallèle avec le condensateur principal Cbp. Elle est provoquée par électrolyse de l'eau aux tensions élevées et par la fuite lente à travers les bornes de batterie a basse tension [45], la constante de temps est donnée par :$\tau_{b1} = R_{b1}C_{b1}$

L'impédance équivalente d'entrée d'une batterie plomb-acide s'exprime par la fonction de transfert suivante :

$$z(S) = \frac{a_2S^2 + a_1S + a_0}{b_2S^2 + b_1S + b_0} \tag{2.24}$$

$$z(p) = Rbs + (Rb1 \| Cb1) + (Rbp \| Cbp) \tag{2.25}$$

$$Z(s) = Rbs + \frac{Rb1}{Rb1 * Cb1\ S+1} + \frac{Rbp}{Rbp * Cbp\ S+1} \tag{2.26}$$

- a2=Rbs.Rb1.Rbp.Cb1.Cbp
- a1=Rbs.Rb1.Cb1+Rbs.Rbp.Cbp+Rb1.Rbp.Cbp+Rbp.Rb1.Cb1

- a0=Rbs+Rb1+Rbp
- b2=Rb1RbpCb1Cbp
- b1=Rb1Cb1+RbpCbp
- b0=1

C'est donc un modèle qui décrit assez bien l'ensemble des composantes d'une batterie plomb-acide, mais pas ses caractéristiques lentement changeantes telles la charge et la décharge.

Une modélisation plus robuste de la même batterie a été proposée dans la littérature.

2.5.1. Description du modèle

La structure générale d'une batterie. Elle est représentée par quatre blocs comme : Bloc capacité, bloc de tension, bloc de l'état de charge (SOC), Bloc des pertes par le courant de gazage. [46]

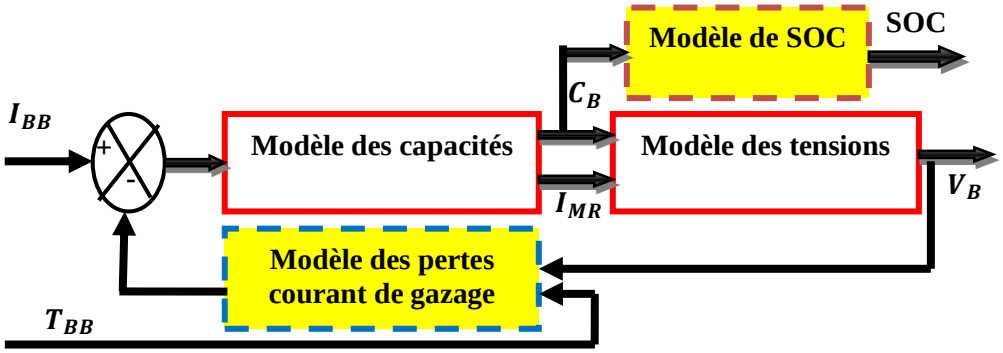


Figure 2.13: Schéma de bloc d'une batterie.

D'après le modèle proposé, Le courant principal de réaction de la batterie I_{MR} s'exprime comme suit:

$$\mathrm{I_{MR}\,(t) = I_{BB}(t) - I_{GAZ}\,(t)} \qquad (2.27)$$

2.5.2. Modèle de la capacité

La capacité représente la quantité du courant qui peut être extraite d'une électrode via les « masses actives », c'est-à-dire l'électrolyte et les matériaux actifs des électrodes, sur une décharge, et en pratique, elle dépend du courant, ainsi que de la température.

Le modèle de la capacité est décrit par l'intégrale du courant $\mathrm{I_{MR}\,(t)}$pendant un temps déterminé.

$$C_B(t) = \int \mathrm{I_{MR}\,(t) + C_{Bi}\,(t)}\, dt \qquad (2.28)$$

$\mathrm{C_{Bi}(t)}$: Capacité initiale de batterie (Ah).

2.5.3. Modèle des pertes par courant de gazéification

Le courant de gazéification de la batterie est donné par l'équation suivante:

$$I_{GAZ}(t) = \frac{C_{10}}{100Ah} I_{GO}.\, e^{[C_V(V_{ELE}(t)-2.23)+C_T(T_{BB}(t)-20]} \quad (2.29)$$

2.5.4. Modèle de l'état de charge (ou SOC)

L'état de charge de la batterie est décrit comme étant le rapport entre la valeur de la capacité de batterie *CB(t)* et la valeur de la capacité de la batterie après un temps de décharge de dix heures C_{10}.

$$SOC(t) = \frac{C_B(t)}{C_{10}} 100\% \quad (2.30)$$

Une batterie électrochimique ne peut être exploitée, a sa pleine puissance, sur toute sa plage d'état de charge. Il existe en effet, une zone de travail à privilégier pour la batterie, globalement entre 30 et 70% de l'état de charge qui permet de solliciter la batterie avec des rendements acceptables. Il en résulte une perte de potentiel considérable qui est fonction de la puissance souhaitée, en d'autres termes de la rapidité de charge ou de décharge [47].

2.5.5. Modèle de la tension

La tension est caractérisée par deux processus, la tension de charge et la tension de décharge de la batterie. Pour les distinguer nous utiliserons le *C* comme indice de charge et *D* pour la décharge.

- *Pour la charge* $I_{BB} > 0$

La tension de charge est décrite par l'équation suivante :

$$V_B(t) = E_B(t) - R_{oc} I_{MR}(t) \quad (2.31)$$

La tension interne de la batterie $E_B(t)$ elle est décrite par l'équation ci-dessous :

$$E_B = E_{OC} + A_C X(t) + \frac{C_C X(t)}{(D_C - X(t))^{EFC}} \quad (2.32)$$

X(t) : Capacité maximum normalisée de charge/décharge.

$$X(t) = \frac{Q_{MAXC}}{Q_{MAX}.\left(I_{MR}(t)\right)} C_B(t) \quad (2.34)$$

Q_{MAXC}: Capacité maximale de charge (Ah).

$Q_{MAX}.\left(I_{MR}(t)\right)$: Capacité maximale de la batterie.

$$\mathrm{Q_{MAX}}.\left(\mathrm{I_{MR}(t)}\right) = \mathrm{C_1 I_{MR}^3(t) + C_2 I_{MR}^2(t) + C_3 I_{MR}^1(t) + C_4} \quad (2.35)$$

Où les paramètres A_C, C_C, D_C, EFC, C_1, C_2, C_3, C_4 sont relatifs à la batterie (Annexe).

- Pour la décharge $I_{BB} < 0$

La tension de décharge est décrite par l'équation suivante :

$$V_B(t) = E_B(t) - R_{OD} I_{MR}(t) \quad (2.36)$$

Effectivement, en charge, la résistance interne dépend encore de l'état de charge de l'accumulateur électrochimique. Sa valeur devient d'autant plus importante lorsque nous approchons de la pleine charge.

Et dans un raisonnement à courant constant, il y aura d'autant plus de pertes que nous nous approchons de la pleine charge et le rendement en charge de l'accumulateur sera donc plus faible dans cette zone [48].

$$\mathrm{E_B(t)} = \mathrm{E_{OD}} + \mathrm{A_D X(t)} + \frac{\mathrm{C_D X(t)}}{(\mathrm{D_D - X(t)})^{\mathrm{EFD}}} \quad (2.37)$$

X(t): Capacité maximum normalisée de charge/décharge.

$$X(t) = \frac{\mathrm{Q_{MAXCD}(Q_{MAXCD} - C_B(t)}}{\mathrm{Q_{MAX}}.\left(\mathrm{I_{MR}(t)}\right)} \quad (2.38)$$

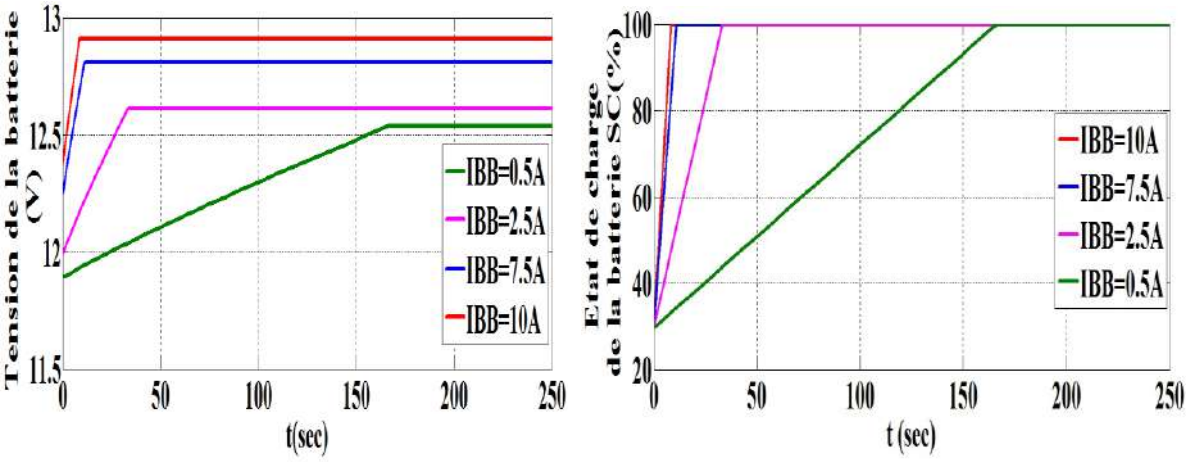
$\mathrm{Q_{MAXCD}}$: Capacité maximale de décharge (Ah); $\mathrm{Q_{MAX}}.\left(\mathrm{I_{MR}(t)}\right)$: Capacité maximale de la batterie.

$$\mathrm{Q_{MAX}}.\left(\mathrm{I_{MR}(t)}\right) = \mathrm{D_1 I_{MR}^3(t) + D_2 I_{MR}^2(t) + D_3 I_{MR}^1(t) + D_4} \quad (2.39)$$

Où les paramètres A_D, C_D, D_D, EFD, D_1, D_2, D_3, D_4 sont relatifs à la batterie voir L'annexe.

➢ Résultat de la simulation

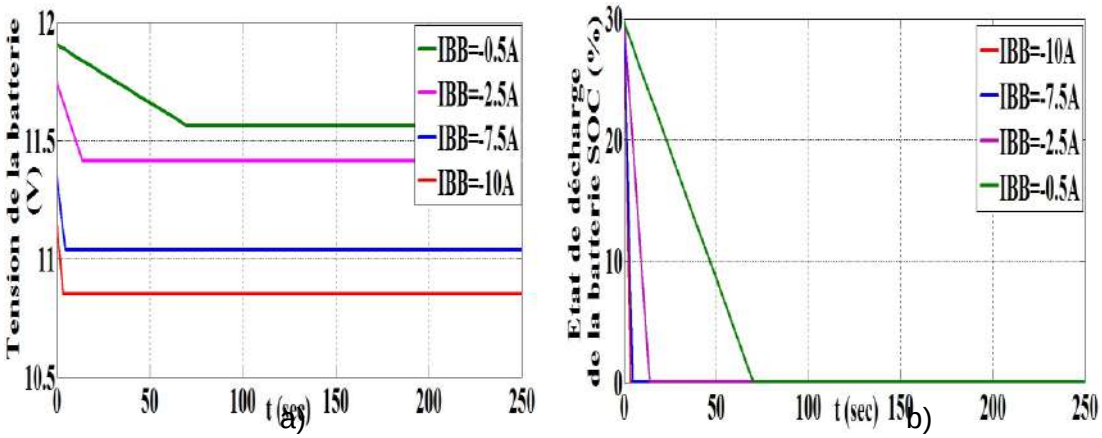
- **Charge de la batterie: I BB** > 0



a) b)

Figure 2.14: Comportement de la batterie lors de la charge.

- **Décharge de la batterie : IBB < 0 :**



a) b)

Figure 2.15: Comportement de la batterie lors de la décharge

2.6. Le Générateur diesel :

2.6.1. Introduction

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. Dans le cas des installations autonomes, il est donc nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesel.

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

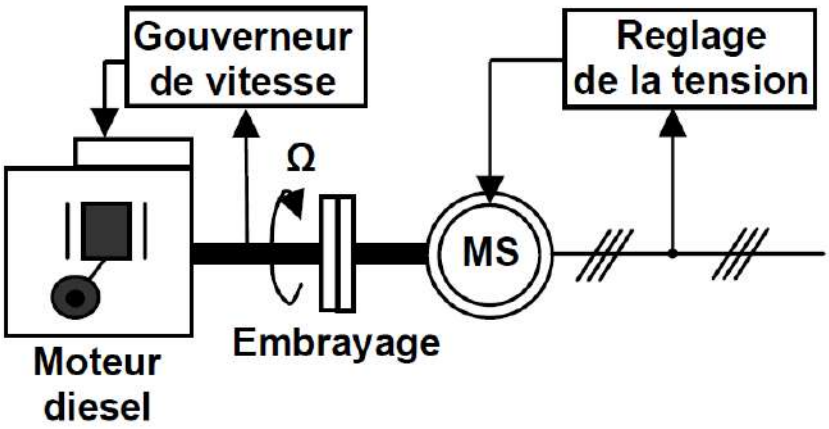


Fig : 2.16. : Configuration du générateur diesel

Les réseaux de courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectés fournissent pour leurs charges, deux formes d'énergie : active et réactive. Dans les processus industriels et domestiques utilisant l'énergie électrique, seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production, en énergie mécanique, thermique, lumineuse, etc.… L'autre, l'énergie réactive sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteurs, autotransformateurs, etc.…). En fait, elle n'est pas consommée, mais les courants associés à la puissance réactive augmentent les pertes dans le système. La puissance réactive dans un système de CA avec GD est produite par le générateur synchrone. Cela est fait conjointement avec le réglage de tension, en ajustant le courant d'excitation du générateur

synchrone. Par conséquent, dans un système d'énergie à CA avec plusieurs GD, on doit avoir au moins un GD connecté au réseau, pour fixer la fréquence du réseau et fournir la puissance réactive. Il est possible de modifier le système pour que le GD ne soit pas toujours sollicité, mais dans ce cas d'autres composants doivent être ajoutés.

Quand plusieurs générateurs diesels fournissent de l'énergie au réseau, ceux-ci sont connectés généralement à un bus à CA. Dans ce cas, un système de commande doit être utilisé pour une distribution correcte de la puissance fournie par les générateurs diesels. Ce système de commande numérique. Une approche est d'utiliser un seul générateur pour fixer la fréquence (générateur maître) du réseau et laisser les autres tourner à vitesse fixe (générateurs esclaves), donc fonctionner à un débit de carburant constant. Dans les systèmes traditionnels, le débit de carburant est fixé manuellement par un opérateur. Avec les commandes modernes, le débit peut être ajusté pour optimiser l'usage du carburant [49].

2.6.2.Réserve tournante :

La réserve tournante est définie en [50] comme étant l'exigence du système de commande définie par la capacité des générateurs classiques de couvrir les changements immédiats causés par l'arrêt des générateurs d'énergie renouvelable et par l'augmentation soudaine de la charge. En effet, la réserve tournante détermine la capacité instantanée de réserve minimale du GD en fonction des prévisions de la production d'énergie renouvelable et de l'évolution de la charge. Une réserve d'énergie doit être toujours disponible pour éviter l'effondrement du système lors d'une réduction soudaine de la production d'énergie renouvelable.

2.6.3.Temps de fonctionnement minimal :

Cette stratégie consiste à maintenir le GD en fonctionnement pour une durée minimale prédéfinie en fonction de la variabilité de la charge ou de la variabilité de l'énergie renouvelable [51].Celle-ci est utilisé pour réduire le nombre de démarrages/arrêts quand la puissance nette (la différence entre la puissance consommée par la charge et la puissance renouvelable) varie beaucoup. La minimisation du nombre de démarrages/arrêts du GD peut permettre d'éviter l'usure des moteurs diesels et leurs démarreurs et en même temps réduire la consommation de carburant.

Hystérésis :

Cette stratégie est souvent utilisée pour commander la déconnexion du générateur diesel [49]. Le GD est arrêté seulement si la puissance renouvelable est supérieure à la demande de la charge. Ce surplus minimal d'énergie (ou hystérésis) peut être mesuré à partir de la variation de fréquence du réseau quand cette fréquence est fixée par le GD utilisant un régulateur type proportionnel (P) et à partir de son niveau de charge quand il utilise un régulateur type Proportionnel-Intégral (PI).

2.6.4.Modélisation du groupe diesel [52]:

La consommation instantanée en fuel $Conso_{fuel}$ du groupe électrogène en fonction de la Puissance instantanée fournie P_{GE} est donnée par :

$$Conso_{fuel} = Conso_{0,fuel} + Conso_{spéci,fuel}.P_{GE} \qquad (2\text{-}40)$$

Où :

$Conso_{0,fuel}$: Consommation du fuel à vide du groupe électrogène [litre/heure].

$Conso_{spéci,fuel}$: Consommation du fuel spécifique du groupe électrogène [litre//kWh].

Avec : $Conso_{0,fuel}$ = 3.979 litre/heure.

Et : $Conso_{spéci,fuel}$ = 0.225 litre/kWh.

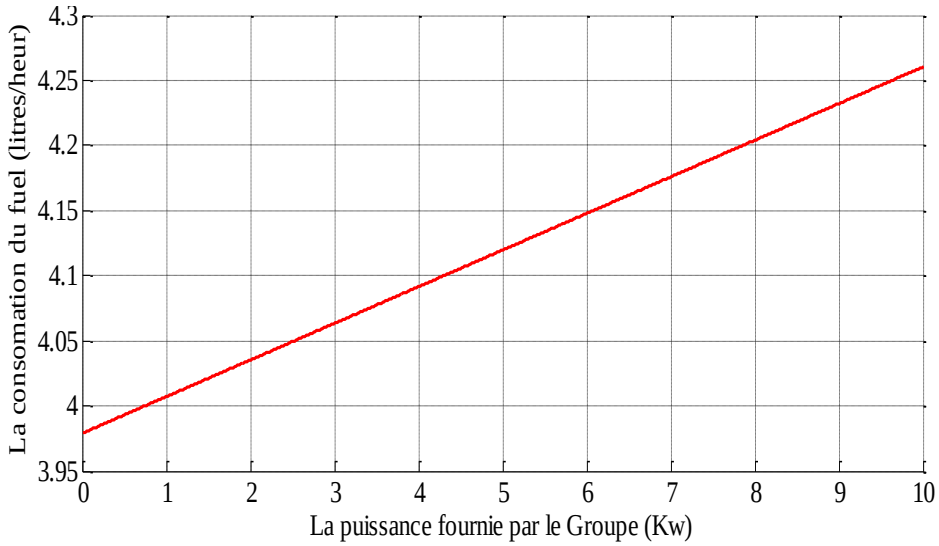


Fig : 2.17 : Consommation en fuel en fonction de la puissance fournie par un groupe électrogène

3. 1.INTRODUCTION :

Dans cette section, les principes de la conversion de la puissance de commutation sont introduits et les détails des différents circuits de convertisseurs DC-DC sont discutés. Les modèles mathématiques pour les convertisseurs buck, boost et buck/boost sont dérivés de représenter l'état stable du circuit et des comportements dynamiques.

Une commutation d'un convertisseur est constituée de condensateurs, des inductances et des interrupteurs. Tous ces dispositifs idéalement ne consomment pas d'énergie, qui est la raison de la haute efficacité de commutation des convertisseurs. L'interrupteur est réalisé avec un dispositif à semi- conducteurs en mode commuté, généralement un MOSFET.

Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est nul et donc la dissipation de puissance est égale à zéro. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à travers sera proche de zéro et donc la puissance dissipée sera très faible [53].

Au cours de l'opération du convertisseur, le commutateur est commuté à une fréquence constante f_S avec un temps de fermeture DT_S, et un temps d'ouverture (1-D) T_S, où T_S est la période de commutation égal $1/f_S$ et D est le rapport cyclique de commutation (D ∈[0, 1]) voir Figure 3.1.

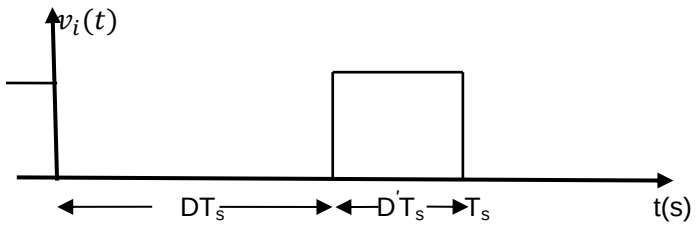


Figure 3.1: Tension idéale du commutateur Vs(t), rapport cyclique D et période de commutation Ts [54].

3. 1.1. Convertisseur Buck (hacheur dévolteur)

Le convertisseur Buck Figure 3.2 peut souvent être trouvé aussi dans la littérature dévolteur ou abaisseur de tension. Cela donne une indication de son application typique de la conversion de sa tension d'entrée en une tension de sortie plus faible, où le rapport de conversion $M = \frac{V_o}{V_i}$ varie avec le rapport cyclique D du commutateur. [55] [56].

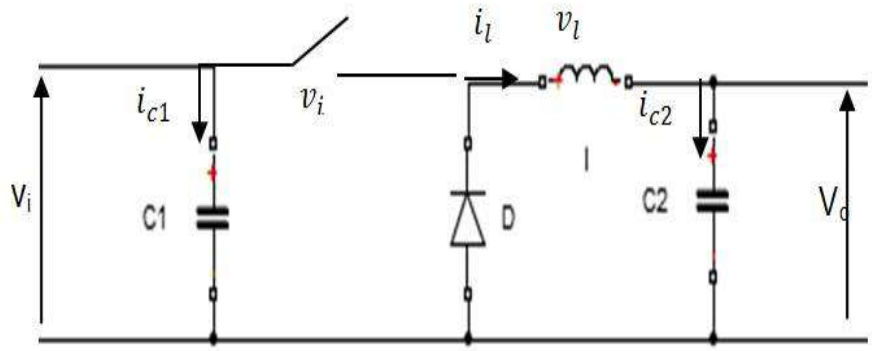


Figure 3.2: Circuit idéal d'un convertisseur Buck [57].

Lorsque le commutateur de la figure 3.1 est fermé (T ∈[0, DTs]), la diode sera bloquée et le courant circulera dans la charge à travers l'inductance.

Dès que le commutateur est ouvert (T ∈[DTs, Ts]), l'inductance maintiendra la circulation du courant dans la charge, mais maintenant la boucle se referme à travers de la diode placée en avant.

3. 1.1.1. Modèle du circuit équivalent

Pour avoir le modèle mathématique du convertisseur buck, on l'analyse pour des deux états (interrupteur ouvert et fermé) doivent être analysés. La figure (3.2) montre le schéma de circuit équivalent d'un convertisseur buck avec le commutateur fermé. La figure (3.3) représente le convertisseur buck avec le commutateur ouvert pendant l'intervalle de temps.$D' = 1 - D$

D'Ts, où D' désigne le complément du rapport cyclique *D*, défini comme suit :

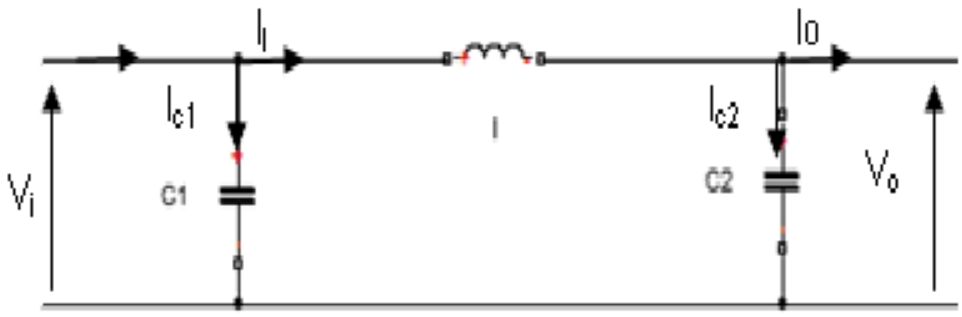


Figure 3.3: Circuit équivalent d'un hacheur buck quand le commutateur est fermé

T ∈[0, DTs] [54].

L'application de la loi de Kirchhoff pour le circuit de la figure 3.3 (interrupteur fermé) conduit à la série suivante d'équations :

$$\begin{cases} i_{c_1}(t) = C_1 \dfrac{dv_i(t)}{dt} = i(t) - i_l(t) \\ i_{c_2}(t) = C_2 . \dfrac{dV_0(t)}{dt} = i_1(t) - i_0(t) \\ v_l(t) = L . \dfrac{di_L}{dt} = v_i(t) - v_0(t) \end{cases} \quad (3.1)$$

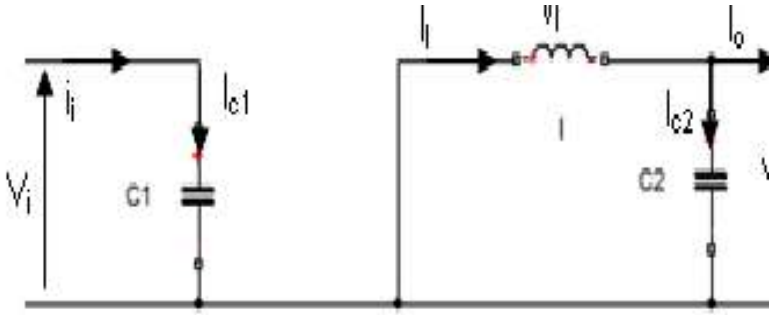


Figure 3.4: Circuit équivalent d'un hacheur buck quand le commutateur est ouvert T ∈[DTs, T_S]

[**54**].

Utilisation de la loi de Kirchhoff sur la figure 3.4 (interrupteur ouvert), une deuxième série d'équations est obtenue :

$$\begin{cases} i_{c_1}(t) = C_1 \dfrac{dv_i(t)}{dt} = i(t) \\ i_{c_2}(t) = C_2 . \dfrac{dV_0(t)}{dt} = i_1(t) - i_0(t) \\ v_l(t) = L . \dfrac{di_L(t)}{dt} = -v_0(t) \end{cases} \quad (3.2)$$

Ce sont les équations de base utilisées pour calculer l'ensemble des modèles mathématiques décrivant les différentes propriétés de hacheur buck.

3. 1.1.2. Approximation des Petites ondulations

Chaque variable dans les équations (3.1) et (3.2) a une valeur continue plus une composante harmonique d'ondulation. Cela peut être exprimé en général par :

$$x(t) = X + x_{ond}(t) \quad (3.3)$$

Où *X* représente la composante continue de *x(t)* qui est équivalente à sa valeur moyenne <*x*(*t*)>, tandis que $x_{ond}(t)$ désigne l'ondulation du signal.

Pour un convertisseur bien conçu, l'amplitude de l'ondulation sera beaucoup plus petite que la composante continue :

$$|x_{ond}(t) \ll X| \tag{3.4}$$

Par conséquent, l'ondulation peut être négligée, et le signal peut être approché par sa composante continue :

$$X(t) \cong X =< x(t) > \tag{3.5}$$

Cette approximation est appelée approximation des petites ondulations ou l'approximation des ondulations linéaires et rend l'analyse mathématique de la commutation des convertisseurs beaucoup plus facile. Les équations (3.1) peuvent maintenant être réécrites; pour DTs les équations sont les suivantes *:*

$$\begin{cases} i_{c_1} = I - I_l \\ i_{c_2} = I_l - I_0 \\ v_l = -v_0 \end{cases} \tag{3.6}$$

$$\begin{cases} i_{c_1} = I \\ i_{c_2} = I_l - I_0 \\ v_l = Vi - Vo \end{cases} \tag{3.7}$$

3. 1.1.3. Volt-second balance et charge-balance

Les valeurs de la composante continue de la tension d'inductance et du courant de condensateur sont définies comme la moyenne de leur signal original :

$$V_l =< v_l >= \frac{1}{T_s}\int_0^{T_s} v_l(t)dt \tag{3.8}$$

$$I_c =< i_c >= \frac{1}{T_s}\int_0^{T_s} i_c(t)dt \tag{3.9}$$

Utilisant la relation $v_l = L\frac{d_{i_l}}{d_t}$ et $i_c = C\frac{d_{v_c}}{d_t}$ on obtient :

$$i_l(T_s) - i_l(0) = \frac{1}{L}\int_0^{T_s} v_l(t)dt \tag{3.10}$$

$$v_c(T_s) - v_c(0) = \frac{1}{C}\int_0^{T_s} i_c(t)dt \tag{3.11}$$

Si l'opération de l'état stable est supposée, les valeurs initiales et finales pendant une période de commutation doivent être égales :

$$i_l(t + T_s) = i_l(t) \tag{3.12}$$

$$v_c(t + T_s) = v_c(t) \tag{3.13}$$

Ces conditions sont appelées inducteurs volt-seconde balance et capacitor charge balance (l'équilibre des charges capacitives) respectivement [58], il est maintenant possible de réécrire les équations (3.15) et équation (3.16) comme suit :

$$0 = \frac{1}{L}\int_0^{T_s} v_l(t)dt \tag{3.14}$$

$$0 = \frac{1}{C}\int_0^{T_s} i_c(t)dt \tag{3.15}$$

En comparant les équations (3.1) et (3.2) avec la définition des valeurs moyennes de v_l et v_c équation (3.14) et équation (3.15), il est évident que les valeurs de la composante continue pour la tension d'inductance et le courant de condensateur doivent être nul :

$$V_l =< v_l >= \frac{1}{T_s}\int_0^{t_s} v_l(t)dt = 0 \tag{3.16}$$

$$I_c =< i_c >= \frac{1}{T_s}\int_0^{t_s} i_c(t)dt = 0 \tag{3.17}$$

Cette conclusion sera utilisée dans la section suivante pour obtenir les modèles de la composante continue du convertisseur.

3. 1.1.4. Caractéristiques de l'état d'équilibre et rapport de conversion M(D)

Les équations (3.6) et (3.7) motivent la construction de la tension de l'inductance utilisant l'approximation des petites ondulations comme le montre la figure 3.5.

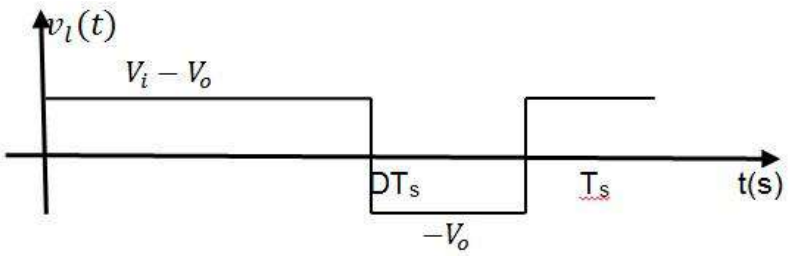


Figure 3.5: Forme d'onde de la tension d'inductance vl (t) pour un hacheur buck idéal [59].

L'expression de la tension moyenne de l'inductance peut être facilement dérivée de la forme d'onde de la figure (3.5), selon le principe de *inducteur volt-seconde balance* et *capaciteur charge balance* la tension moyenne d'inductance est égale à zéro au cas de l'état stable ainsi :

$$< v_l(t) >= D(V_i - V_0) + D'(-V_0) = 0 \quad (3.18)$$

En utilisant les équations ci-dessus et en appliquant le principe de *capacitor charge balance* conduit à des expressions pour les courants moyens du condensateur:

$$< i_{c_1}(t) >= D(I - I_l) + D'I = 0 \quad (3.19)$$

$$< i_{c_2}(t) >= D(I_i - I_0) + D'(I_l - I_0) = 0 \quad (3.20)$$

En outre la conversion de (3.19) et (3.20) associée à (3.18) conduit à trois équations simples qui décrivent les caractéristiques du courant continu à l'état stable d'un hacheur buck:

$$\begin{cases} DV_i = V_0 \\ I = DI_l \\ I_l = I_0 \end{cases} \quad (3.21)$$

Où (2.44) donne le rapport de conversion *M (D)* de le hacheur Buck :

$$M(D) = \frac{V_0}{V_i} = D \quad (3.22)$$

La figure (3.6) illustre cette relation linéaire.

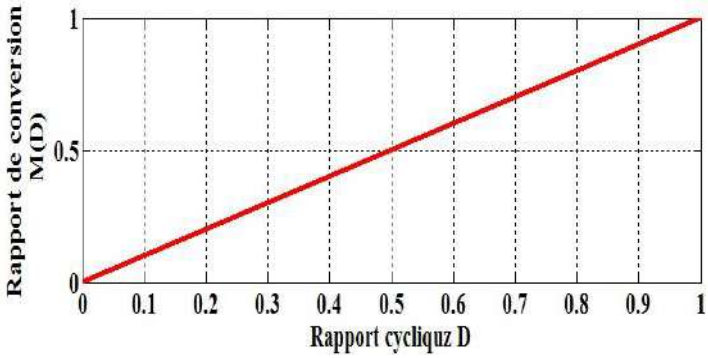


Figure 3.6: Rapport de conversion M(D) en fonction du rapport cyclique D pour un hacheur buck.

3. 1.1.5. Détermination des ondulations de tension et du courant

Alors que l'amplitude de l'ondulation de la tension de sortie ΔV_0 varie généralement de 1% de la composante continue V_0, l'amplitude de l'ondulation du courant de l'inductance Δi_l varie de plus de 10% à 20% de sa valeur continue i_l,il est important à savoir, parce que l'ondulation du courant de l'inductance est déterminée par la valeur de l'inductance *L*, si l'ondulation est trop grande, la taille de l'instrument de commutation semi-conducteur doit être renforcée pour traiter les pics de courant élevé.

L'augmentation de la taille se traduirait par une augmentation de poids et de coût plus élevé. Par conséquent, une étude plus approfondie de l'ondulation du courant de l'inductance doit être fait L'utilisation de la relation (3.23)

$$v_l = l\frac{di_l}{dt} \tag{3.23}$$

Et l'équation (3.5), qui a été dérivée en utilisant la méthode de l'approximation des petites ondulations, l'expression suivante est obtenue :

$$\frac{di_l}{d_t} = \frac{v_l}{L} \approx \frac{v_i - v_0}{L} \tag{3.24}$$

Ou $\frac{di_l}{d_t}$ représente la pente du courant d'inducteur pendant le premier intervalle de temps DTs de la période de commutation. Pour le deuxième intervalle de temps D'T_S l'équation devient

$$\frac{di_l}{d_t} = \frac{v_l}{L} \approx \frac{-v_0}{L} \tag{3.25}$$

Comme le montre l'équation (3.25), l'approximation des petites ondulations mène à une expression linéaire de la pente de l'ondulation de commutation, d'où sa désignation alternative comme l'approximation de l'ondulation linéaire

Avec l'expression linéaire de$\frac{di_l}{dt}$, l'équation de la crête à crête d'ondulation du courant peut facilement être dérivée :

$$i_{icc} = 2\Delta i_l = \frac{v_i - v_0}{L} DT_s \tag{3.26}$$

Étant donné que le convertisseur est supposé être en équilibre, il n'y a pas de différence si DT_s ou D`'T_s est choisie pour déterminer l'amplitude des ondulations.
L'équation (3.26) peut maintenant être résolue à l'inductance L afin que l'amplitude d'ondulation du courant désiré peut être atteint :

$$L = \frac{V_i - V_0}{2\Delta i_l} DT_s \tag{3.27}$$

Pour obtenir une ondulation de la tension de sortie désirée, une approche similaire peut être utilisée. Avec la relation $i_{c_2} = c_2 \frac{dv_{c_2}}{dt}$ et l'approximation des petites ondulations, l'équation suivante est obtenue :

$$\frac{dv_{c_2}}{d_t} = \frac{i_{c_2}}{c_2} \approx \frac{I_l - I_0}{c_2} \tag{3.28}$$

Ou $\frac{dv_{c_2}}{dt}$ est la pente de l'ondulation de la tension de sortie pendant l'intervalle du temps DT_s.

Ceci mène à l'ondulation de la tension de sortie crête à crête :

$$v_{0cc} = 2\Delta v_0 = \frac{I_l - I_0}{C_2} DT_s \tag{3.29}$$

Avec ΔV_0 étant l'amplitude de l'ondulation de la tension de sortie, en résoudre l'équation 3.29 pour produire C_2, une expression qui peut être utilisée pour choisir C_2 comme une fonction de l'ondulation de la tension de sortie souhaitée :

$$C_2 = \frac{I_l - I_0}{2\Delta v_0} DT_s \tag{3.30}$$

3. 1.2. Convertisseur Boost (hacheur survolteur)

Les principes de l'approximation des petites ondulations, inducteur volt second balance et capa citeur charge balance qui ont été présentés dans la section précédente peuvent être utilisés dans tous les convertisseurs de commutation pour trouver les tensions et les courants de son état d'équilibre.

Le convertisseur boost, comme le montre dans la figure (3.7), est aussi connu comme le convertisseur élévateur "step-up". Le nom implique son application typique de la conversion d'une faible tension d'entrée à une haute tension de sortie, l'essentiel le fonctionnement est l'inverse d'un convertisseur buck.

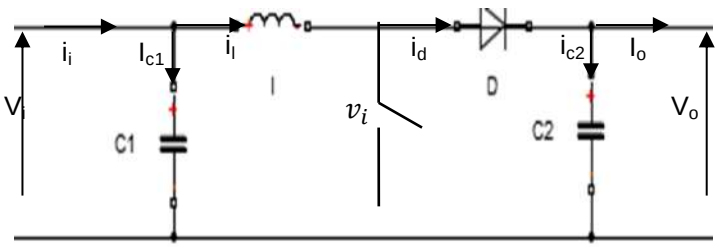


Figure 3.7: Circuit idéal d'un convertisseur Boost [60].

3. 1.2.1. Modèle du circuit équivalent

En premier temps DT_S, figure 3.1, le transistor est fermé, le courant dans l'inductance croit progressivement, au fur et à mesure elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période, le transistor s'ouvre et l'inductance L s'oppose à la diminution du courant i_l, ainsi elle génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge à travers la diode**.**

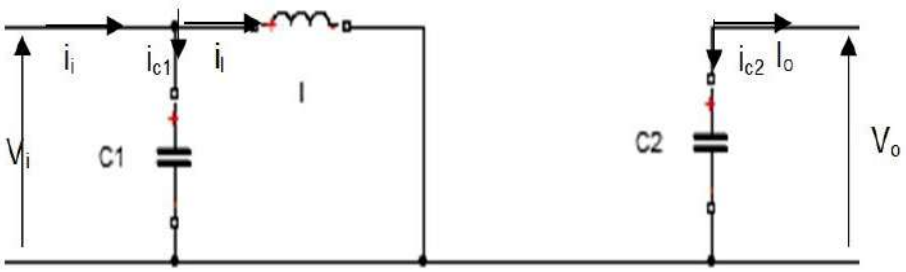


Figure 3.8: Circuit équivalent d'un hacheur boost quand le commutateur est fermé $T \in [0, DT_S]$.

Après le commutateur est ouvert dans le deuxième intervalle de temps $D'T_s$ de la période de commutation Figure 3.9, la nature des objets de l'inductance de la discontinuité dans la circulation du courant, et le courant élevé à travers d'une diode de roue libre placée en avant à une haute tension qui est appliquée dans l'ensemble du chargement.

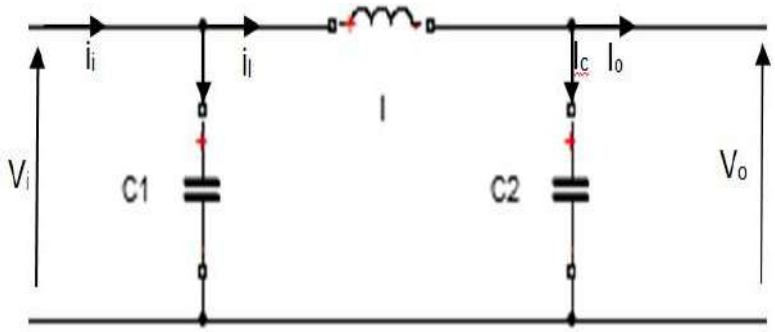


Figure 3.9: Circuit équivalent d'un hacheur boost quand le commutateur est ouvert

$$T \in [DTs, Ts][59]$$

Pour obtenir l'état d'équilibre l'impulsion des fonctions de transfert d'un hacheur boost et l'expression de son rapport de conversion M(D*)*, les deux différents intervalles du temps DT_s et $D'T_s$ pour la période de commutation T_s doivent être considérés.

La figure 3.8 montre le circuit équivalent d'un convertisseur boost pendant l'intervalle de temps DT_s, lorsque l'interrupteur est fermé. L'application de la loi de Kirchhoff des équations du circuit mène à la série suivante des expressions de DT_s :

$$\begin{cases} i_{c_1}(t) = C_1 \dfrac{dv_i(t)}{dt} = i(t) - i_l(t) \\ i_{c_2}(t) = C_2 . \dfrac{dV_0(t)}{dt} = -i_0(t) \\ v_l(t) = L . \dfrac{di_L(t)}{dt} = -v_i(t) \end{cases} \quad (3.31)$$

Pour la période de temps de l'interrupteur est ouvert $D'T_s$ montré à la figure 3.9, une deuxième série d'équations peut être obtenue :

$$\begin{cases} i_{c_1}(t) = C_1 \dfrac{dv_i(t)}{dt} = i(t) - i_1(t) \\ i_{c_2}(t) = C_2 . \dfrac{dV_0(t)}{dt} = i_l(t) - i_0(t) \\ v_l(t) = L . \dfrac{di_L(t)}{dt} = v_i(t) - v_0(t) \end{cases} \tag{3.32}$$

3. 1.2.2. Caractéristiques de l'état d'équilibre et rapport de conversion M(D)

L'approximation des petites ondulations, il est possible de négliger l'ondulation de commutation dans les signaux de convertisseur et de les remplacer par leurs valeurs moyennes de (3.25). Cela simplifie les équations (3.3) à :

$$\begin{cases} i_{c_1} = I - I_l \\ i_{c_2} = -I_0 \\ v_l = -V_i \end{cases} \tag{3.33}$$

$$\begin{cases} i_{c_1} = I - I_l \\ i_{c_2} = I_l - I_0 \\ v_l = v_i - v_0 \end{cases} \tag{3.34}$$

Pour trouver les valeurs moyennes de C_1, C_2, pendant toutes les périodes de commutation Ts:

$$< x(t) >= \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} x(\tau)\, d\tau \tag{3.35}$$

$$< x(t) >= \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} x \Big|_{|0,DT_s|}(\tau) d\tau + \int_{t+DT_s}^{t+T_s} x \big|_{|DT_s,T|}(\tau) d\tau \tag{3.36}$$

En appliquant le principe d'inducteur volt-second balance et capacité charge balance de l'inductance tel que présenté dans la section précédente, enfin, les moyennes d'un modèle en courant continu d'un convertisseur boost sont :

$$\begin{cases} < i_{c_1}(t) >= D(I - I_l) + D'(I - I_l) = 0 \\ < i_{c_2}(t) >= D(I_i - I_0) + D'(I_l - I_0) = 0 \\ < v_l(t) \geq DV_i + D'(V_i - V_0) = 0 \end{cases} \tag{3.37}$$

Avec $D' = 1 - D$ ce peut être encore simplifiée pour une dernière série d'équations décrivant les caractéristiques de l'état d'équilibre en composant continu :

$$\begin{cases} V_i = D'V_0 \\ I = D'I_l \\ I_0 = I_l \end{cases} \tag{3.38}$$

Où équation 2.61 donne le rapport de conversion M (D) d'un convertisseur boost idéal :

$$M(D) = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{D'} = \frac{1}{1-D} \tag{3.39}$$

La figure 3.10 illustre cette relation pour le convertisseur boost.

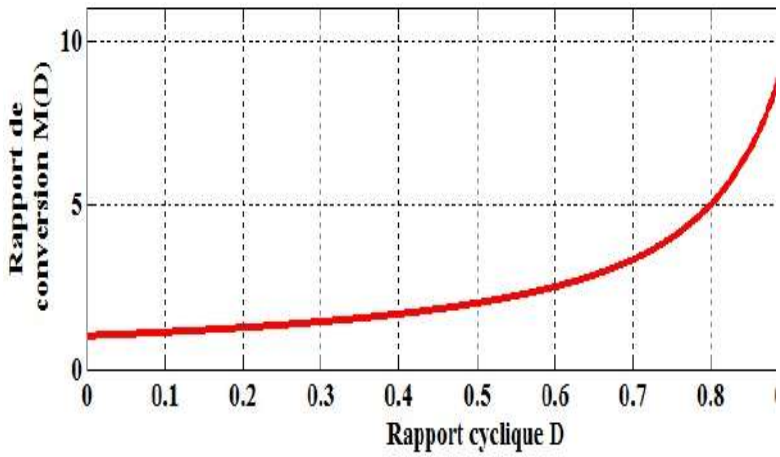


Figure 3.10: Rapport de conversion M(D) en fonction du rapport cyclique D pour un hacheur boost.

3. 1.2.3. Détermination des ondulations de tension et du courant

Pour le convertisseur boost, comme pour le convertisseur buck dans la section précédente une approximation de l'ondulation linéaire est faite pour l'ondulation de la tension de sortie v_O, l'ondulation de la tension d'entrée V_i, et pour l'ondulation du courant d'inductance i_l.Ceci permet de tirer des expressions à la dimension des composants du circuit selon les limites d'ondulation spécifiées.

Avec les équations (3.37) une approximation linéaire de la pente de ces ondulations est donnée sous :

$$\frac{dv_{c_1}}{d_t} \approx \frac{i_{c_1}}{c_1} = \frac{I - I_l}{c_1} \tag{3.40}$$

$$\frac{dv_{c_2}}{d_t} \approx \frac{i_{c_2}}{c_2} = \frac{-I_0}{c_2} \tag{3.41}$$

$$\frac{di_l}{d_t} \approx \frac{v_l}{L} = \frac{V_i}{L} \tag{3.42}$$

Ou $\frac{dv_{c_1}}{dt}$; $\frac{dv_{c_2}}{dt}$; $\frac{di_l}{dt}$ sont les pentes de l'ondulation de la tension d'entrée, l'ondulation de la tension de sortie, et l'ondulation du courant de l'inductance pendant le premier intervalle de temps DT_s, respectivement. Avec ces équations linéaires, il est facile d'exprimer l'ondulation de crête à crête :

$$v_{icc} = 2\Delta v_i = \frac{I - I_l}{C_1} DT_s \quad (3.43)$$

$$v_{0cc} = 2\Delta v_0 = \frac{-I_0}{C_2} DT_s \quad (3.44)$$

$$i_{lcc} = 2\Delta v_l = \frac{v_i}{L} DT_s \quad (3.45)$$

En résoudre l'équation (3.43), (3.44) et (3.45) pour les résultats des valeurs des composants dans une série d'équations qui permettent de concevoir des ondulations spécifications données d'un convertisseur :

$$C_1 = \frac{I - I_l}{2\Delta v_i} DT_s \quad (3.46)$$

$$C_2 = \frac{-I_0}{2\Delta v_0} DT_s \quad (3.47)$$

$$L = \frac{V_i}{2\Delta i_l} DT_s \quad (3.48)$$

3. 1.3. Convertisseur buck-Boost (hacheur dévolteur-survolteur)

Le convertisseur buck-boost combine les propriétés des configurations de buck et de boost. Il peut être utilisé pour transformer idéalement n'importe quelle tension d'entrée continue en n'importe quelle tension de sortie continue désirée. En pratique, l'usage de l'idéalité est naturellement limité par les pertes des composants.

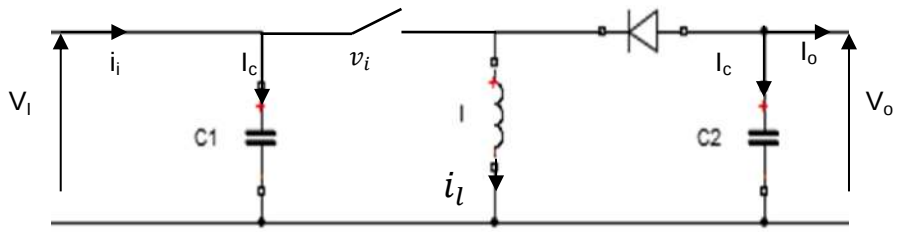


Figure 3.11: Circuit idéal d'un convertisseur buck-boost [60].

3. 1.3.1. Modèle du circuit équivalent

La figure 3.11 montre le schéma de circuit équivalent idéal de convertisseur buck-boost. Si l'interrupteur est fermé pendant le premier intervalle de temps DT_s de la période de V commutationT_s, un courant commence à circuler de la source d'entrée à la masse à travers l'inductance, Après que le commutateur s'ouvre au début du deuxième intervalle de temps D'T_S, ce courant est maintenu par la nature de l'inductance, La boucle de courant se ferme à travers

la charge et la diode Figure 3.12. Puisque le courant est forcé de circuler "en arrière-backwards-" à travers la charge, la tension de sortie V_0 du convertisseur Buck-Boost est négative. La variation du rapport cyclique D variera le rapport de conversion entre la tension de sortie et la tension d'entrée.$\frac{V_o}{V_i}$

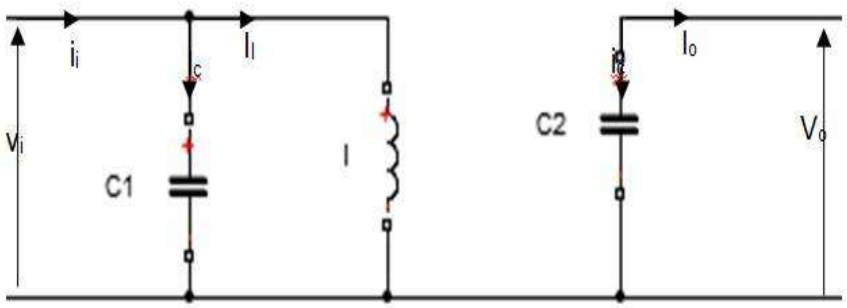


Figure 3.12: Circuit équivalent d'un hacheur buck-boost quand le commutateur est fermé

$$T \in [0, DTs][60]$$

$$\begin{cases} i_{c_1}(t) = C_1 \dfrac{dv_i(t)}{dt} = i(t) - i_l(t) \\ i_{c_2}(t) = C_2 . \dfrac{dV_0(t)}{dt} = -i_0(t) \\ v_l(t) = L . \dfrac{di_L(t)}{dt} = v_i(t) \end{cases} \tag{3.49}$$

L'application de la loi de Kirchhoff et les équations de nœuds du circuit dans le premier état de commutation illustré à la figure 3.12 donne la première partie des équations du système pour la période de temps DT_s

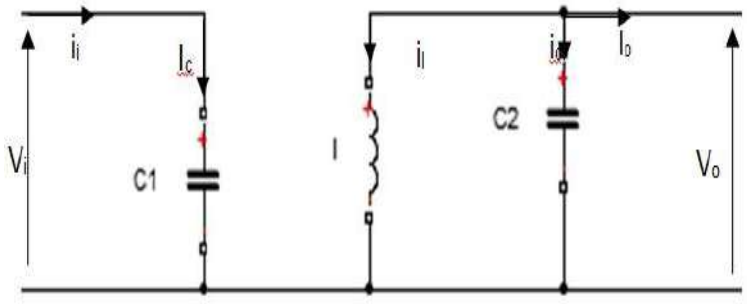


Figure 3.13: Circuit équivalent d'un hacheur buck- boost quand le commutateur est ouvert T ∈ [DTs, T_S] [60].

Et pour la deuxième période de temps D'Ts, après la figure3.13

$$\begin{cases} i_{c_1}(t) = C_1.\dfrac{dv_i(t)}{dt} = i(t) \\ i_{c_2}(t) = C_2.\dfrac{dV_0(t)}{dt} = -i_l(t) - i_0(t) \\ v_l(t) = L.\dfrac{di_L(t)}{dt} = v_0(t) \end{cases} \quad (3.50)$$

3. 1.3.2. Caractéristiques de l'état d'équilibre et rapport de conversion M(D)

L'approximation de petites ondulations permet de remplacer les variables en fonction du temps (3.49) et (3.50) avec leurs valeurs moyennes (3-3) Ceci donne pour DT_s :

$$\begin{cases} i_{c_1} = I - I_l \\ i_{c_2} = -I_0 \\ v_l = -V_i \end{cases} \quad (3.51)$$

$$\begin{cases} i_{c_1} = I \\ i_{c_2} = I_l - I_0 \\ v_l = v_0 \end{cases} \quad (3.52)$$

Le modèle d'inducteur volt-seconde balance et capaciteur charge balance que discuté dans la section précédente se mène avec (3.44) à :

$$\begin{cases} < i_{c_1}(t) >= D(I - I_l) + D'(I) = 0 \\ < i_{c_2}(t) >= D(-I_0) + D'(-I_l - I_0) = 0 \\ < v_l(t) >= DV_i + D'(V_i - V_0) = 0 \end{cases} \quad (3.53)$$

Le modèle en moyenne de l'état d'équilibre pour un convertisseur buck-boost idéal peut maintenant être obtenu en multipliant les équations (3.53).

Ceci donne avec $D' = 1 - D$

$$\begin{cases} DV_i = -D'V_0 \\ I_0 = D'I_l \\ I = DI_l \end{cases} \quad (3.54)$$

Où (3.54) donne le rapport de conversion continu *M(D)* d'un convertisseur buck-boost idéal :

$$M(D) = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{D'} = \frac{-D}{1 - D} \quad (3.55)$$

La figure (3.14) illustre le rapport de conversion d'un convertisseur Buck-Boost.

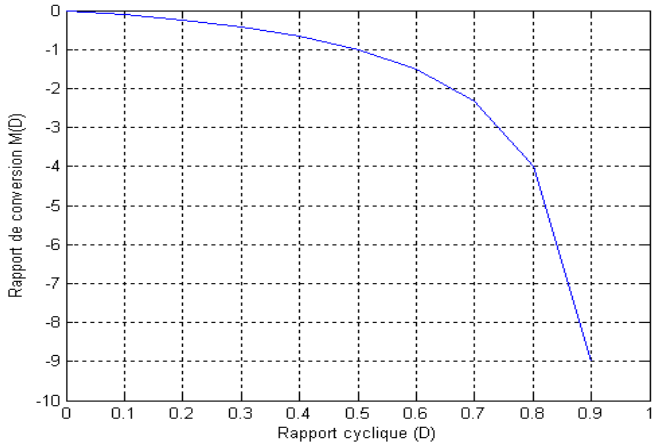


Figure 3.14: Rapport de conversion M(D) en fonction du rapport cyclique D pour un hacheur buck-boost.

3. 1.3.3. Détermination des ondulations de tension et du courant

Une approximation des ondulations linéaires est faite, comme discuté précédemment les types des convertisseurs, afin de déterminer les équations qui le rendent plus facile à concevoir un convertisseur qui se réunira les spécifications des ondulations de commutation au maximum désirées, Il est supposé que la pente de l'ondulation pendant l'une des deux intervalles de temps dans une période de commutation T_s est une fonction linéaire du temps.
Pour l'intervalleDT_s, ceci donne avec les équations suivantes :

$$\frac{dv_{c_1}}{d_t} \approx \frac{i_{c_1}}{c_1} = \frac{I - I_l}{c_1} \tag{3.56}$$

$$\frac{dv_{c_2}}{d_t} \approx \frac{i_{c_2}}{c_2} = \frac{-I_0}{c_2} \tag{3.57}$$

$$\frac{di_l}{d_t} \approx \frac{v_l}{L} = \frac{V_i}{L} \tag{3.58}$$

Ou $\frac{dv_{c_1}}{dt}$; $\frac{\mathrm{dv_{c_2}}}{\mathrm{dt}}$; $\frac{\mathrm{di_l}}{\mathrm{dt}}$ sont les pentes de l'ondulation de commutation $\Delta V_{Ci}, \Delta V_{C0}$ et Δi_l respectivement. Ceci donne les expressions suivantes pour les amplitudes des ondulations crête à crête :

$$v_{icc} = 2\Delta v_i = \frac{I - I_l}{C_1} DT_s \tag{3.59}$$

$$v_{0cc} = 2\Delta v_0 = \frac{-I_0}{C_2} DT_s \tag{3.60}$$

$$i_{lcc} = 2\Delta i_l = \frac{V_i}{L} DT_s \tag{3.61}$$

En fin (3.59), (3.60), (3.61) peut être transformée de telle sorte que les composants du convertisseur dépendent à des amplitudes des ondulations de commutation spécifiée $\Delta V_{Ci}, \Delta V_{C0}$ et Δi_l [60]

$$C_1 = \frac{I - I_l}{2\Delta v_i} DT_s \tag{3.62}$$

$$C_2 = \frac{-I_0}{2\Delta v_0} DT_s \tag{3.63}$$

$$L = \frac{V_i}{2\Delta i_l} DT_s \tag{3.64}$$

3. 2. Poursuite du point de puissance maximale (MPPT)

Ce principe consiste à utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en permettant à travers une action de contrôle de fixer le point de fonctionnement du GPV indépendamment de celui de la charge, permet l'extraction de la puissance optimale [61]. L'ensemble peut fonctionner de façon idéale, si diverses boucles de contrôle en entrée et en sortie de l'étage d'adaptation sont prévues. En entrée, elles garantissent l'extraction à chaque instant, du maximum de puissance disponible aux bornes du GPV. Et en sortie, des boucles de contrôle spécifiques permettent un fonctionnement optimal de chaque application dans son mode le plus approprié. Des lois de commandes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximums [62], Le principe de ces commandes consiste à agir sur le rapport cyclique du hacheur de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment [63].

Plusieurs solutions ont été proposées pour l'algorithme de recherche du *PPM* commandant le convertisseur statique ; dans ce chapitre, nous élaborons trois techniques à savoir :

- Algorithme de contrôle de PPM Perturbation & Observation (P&O) ;
- Algorithm Conductance Incremental ;

3. 2.1. Algorithme Perturbation et Observation (P&O)

La méthode de P & O est une méthode largement utilisée à l'approche MPPT. Elle traite les valeurs de la tension *V* et du courant *I* du panneau et qui à partir de ces valeurs calcule la puissance. Ceci permet de commander directement le rapport cyclique variable "*d*" qui génère le signal de modulation de largeur d'impulsion (PWM) pour la commande du convertisseur DC/DC. La méthode de perturbation et d'observation (P&O), génère la perturbation continuelle du système en augmentant ou en diminuant la tension d'opération du panneau et observe son impact sur le rendement de ce même panneau. Le diagramme suivant explicite l'algorithme de cette méthode de perturbation et d'observation (P&O). [64][63].

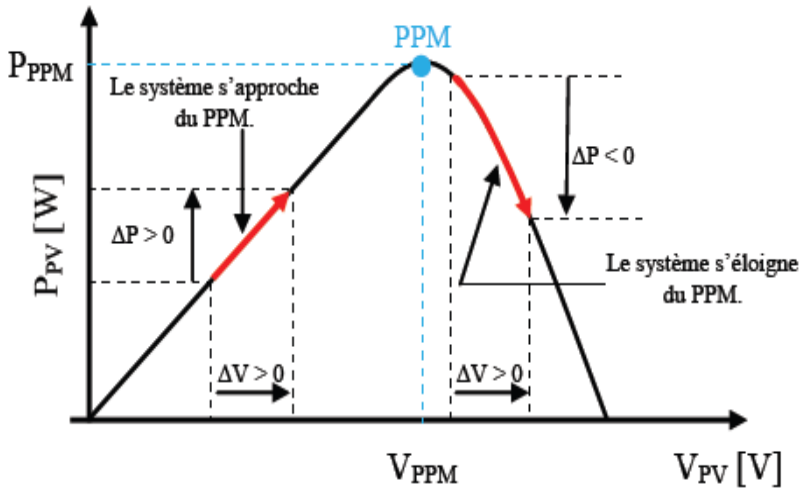


Figure 3.15: Principe de fonctionnement de la commande MPPT.

L'inconvénient major de la méthode P & O est décrit par plusieurs chercheurs. Dans le cas d'une augmentation soudaine des insolations E, l'algorithme de P & O réagit comme si l'augmentation est survenue à la suite de la perturbation précédente de la tension d'opération du panneau. La prochaine perturbation, par conséquent, sera dans la même direction que la précédente même si ce n'est pas le bon. La prochaine perturbation, par conséquent, sera dans la même direction que la précédente. En supposant que le système oscille autour du point de fonctionnement maximum MPP. [65]

La figure 3.16 présente l'organigramme de l'algorithme *P&O*

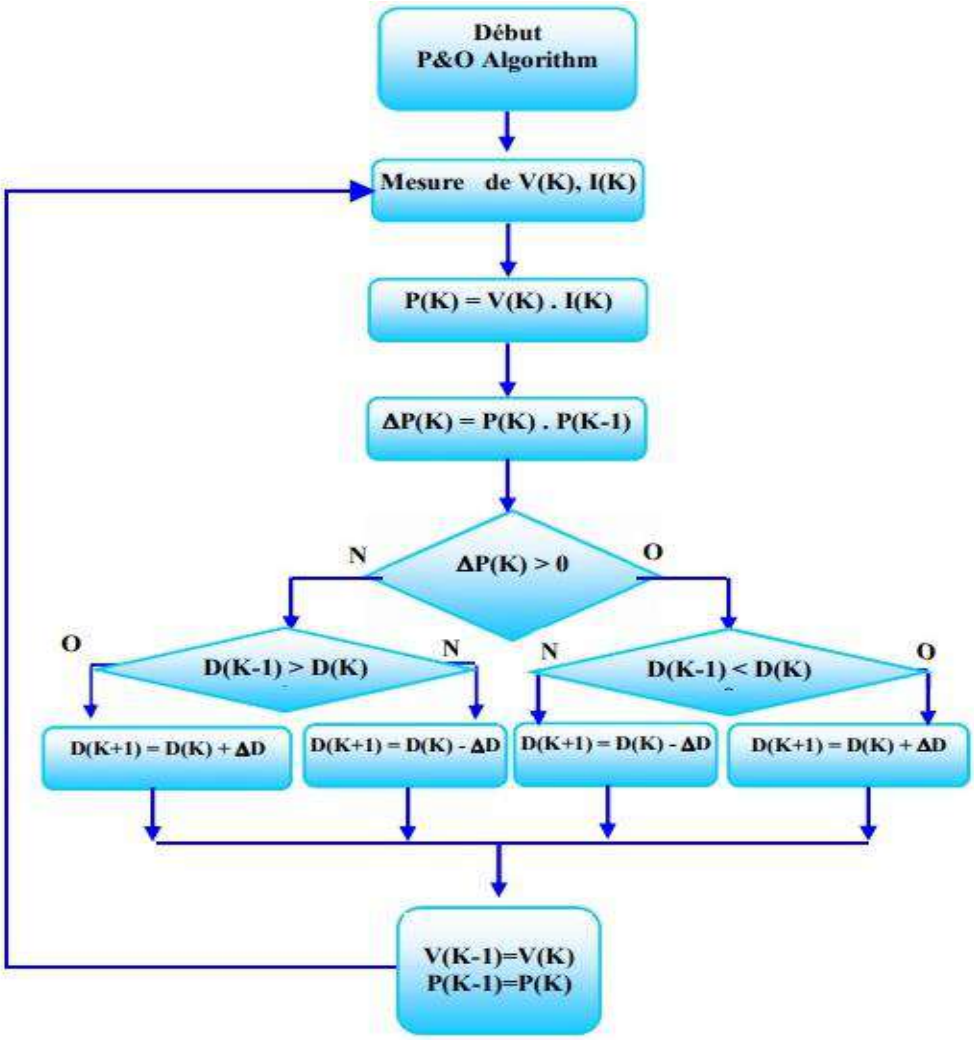


Figure 3.16: Algorithme de la méthode de Perturbation et d'Observation (P & O) du MPPT. Avec α est la largeur du pas de la perturbation [60].

3. 2.2. La méthode de l'algorithme "Incrémental Conductance" (InCond) simple:

Pour éviter les inconvénients de la méthode perturbation et observation P&O MPPT, on développe l'algorithme d'incrémentation de la conductance MPPT (IncCond. Il est basé sur le fait que la dérivée de la puissance P par rapport à la tension V du panneau est égale à zéro au point de puissance maximale (MPP).

Ceci donne les équations suivantes:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad Pour\ V = V_{mp} \tag{3.65}$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad Pour\ V < V_{mp} \tag{3.66}$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad Pour\ V > V_{mp} \tag{3.67}$$

On a : $P = V * I$, alors on développe la dérivé $\frac{\mathrm{dP}}{\mathrm{dV}}$:

$$\frac{dP}{dV} = I\frac{dV}{dV} + V\frac{dI}{dV} = I + V\frac{dI}{dV} \tag{3.68}$$

Ces équations donnent :

$$\begin{cases} \frac{\mathrm{dP}}{\mathrm{dV}} > 0 \text{ si } \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{V}} > -\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dV}} & (3.69) \\ \frac{\mathrm{dP}}{\mathrm{dV}} = 0 \text{ si } \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{V}} = -\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dV}} & (3.70) \\ \frac{\mathrm{dP}}{\mathrm{dV}} < 0 \text{ si } \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{V}} < -\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dV}} & (3.71) \end{cases}$$

$-\frac{1}{\mathrm{V}}$ **:** La conductance , $\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dV}}$**:** Conductance instantanée.

Avec ces relations on pourrait développer l'algorithme d'incrémentation de la conductance et ceci est représenté sur le schéma suivant figure 3.17 [66]:

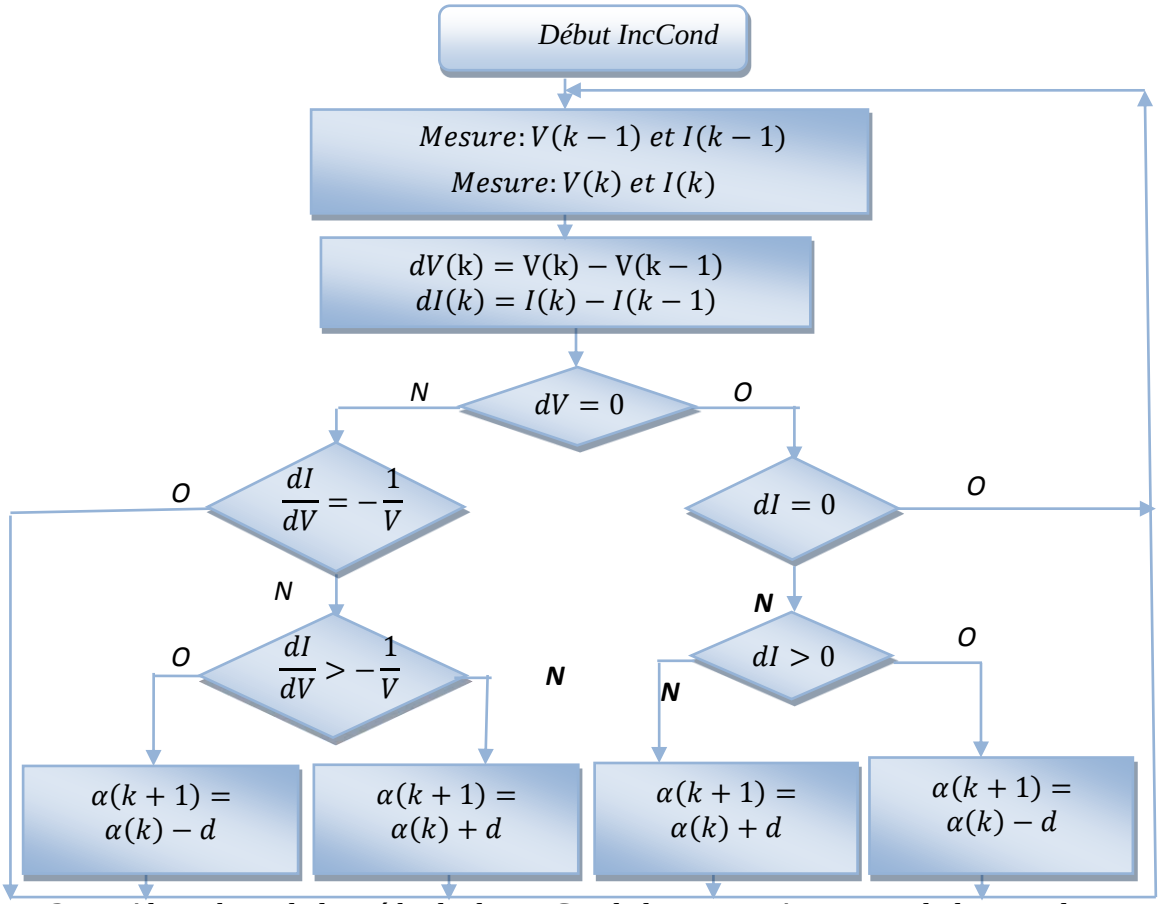


Figure 3.17: Algorithme de la méthode de 'IncCond' du MPPT. Avec α est la largeur du pas d'ajustement [60].

La figure suivante représente la réponse de l'algorithme P&O et InCond lors du fonctionnement dans des conditions standards (T=25°C, E=1000w/m^2)

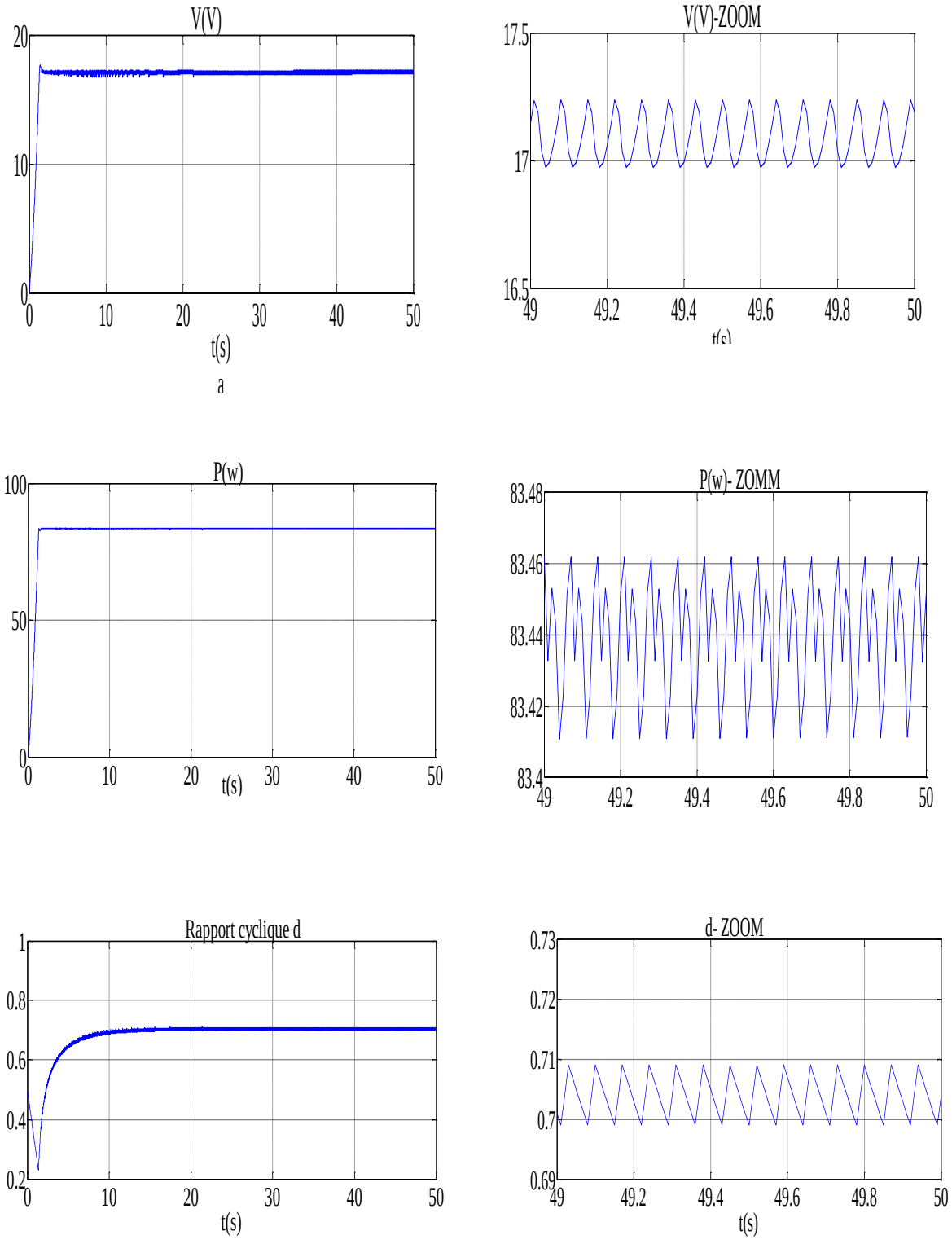


Figure 3.18: Réponse de l'Algorithme P&O lors de fonctionnement standard.

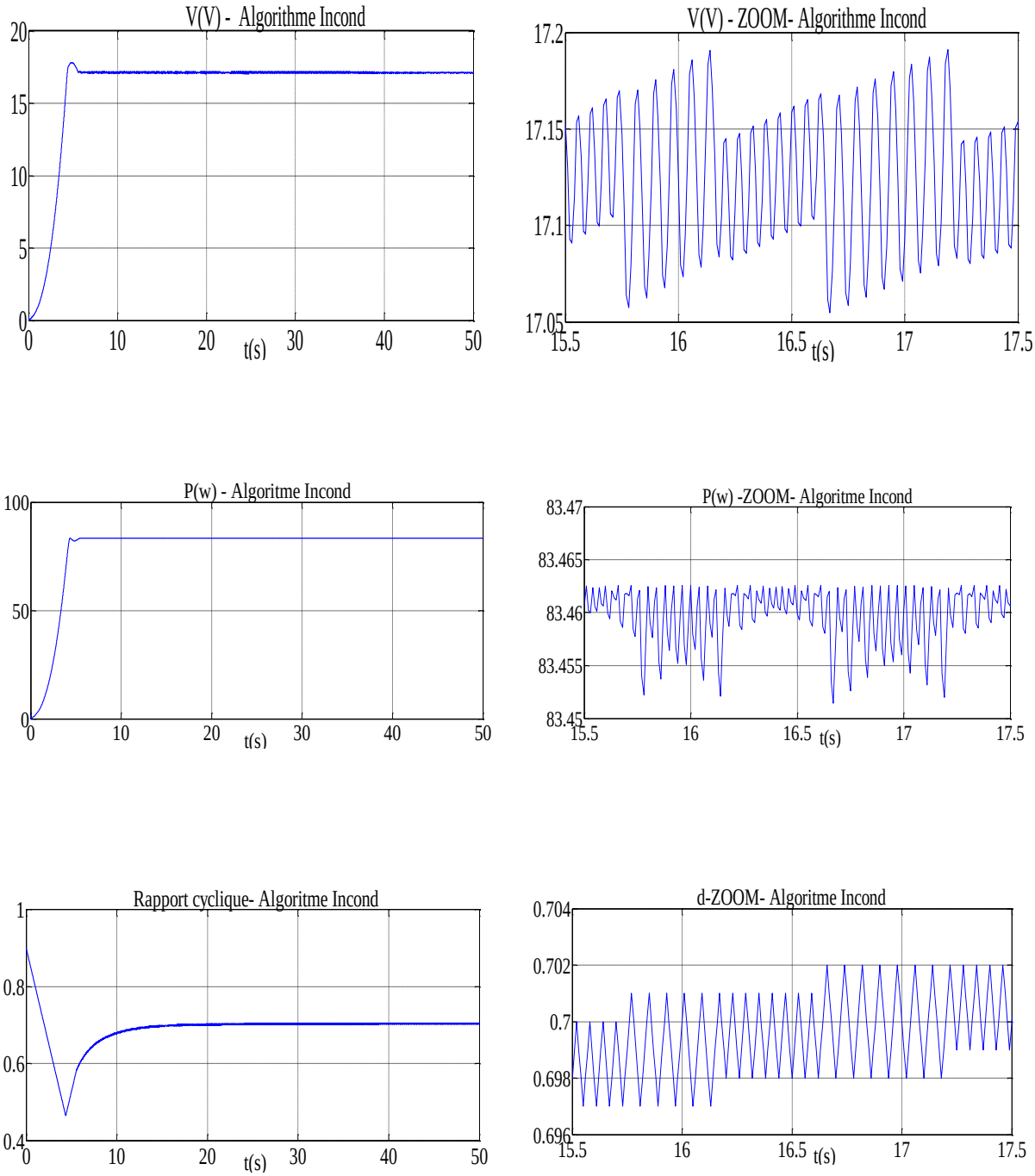


Figure 3.19: Réponse de l'Algorithme Incond lors de fonctionnement standard.

On remarque que le contrôleur conductance incrémentale parvient à ajuster rapidement le rapport cyclique d par apport le contrôleur P&O de sorte que le point de puissance maximale soit atteint**.**

3. 2.3. La commande MPPT FLOU

Récemment, la commande par logique floue a été utilisée dans les systèmes de poursuite du point maximum de puissance MPPT, cette commande offre l'avantage d'être une commande robuste et relativement simple à élaborer et elle ne nécessite pas la connaissance exacte du modèle à réguler. La mise en place d'un contrôleur flou se réalise en trois étapes, qui sont : la fuzzification, l'inférence et la défuzzification (Fig.20) .

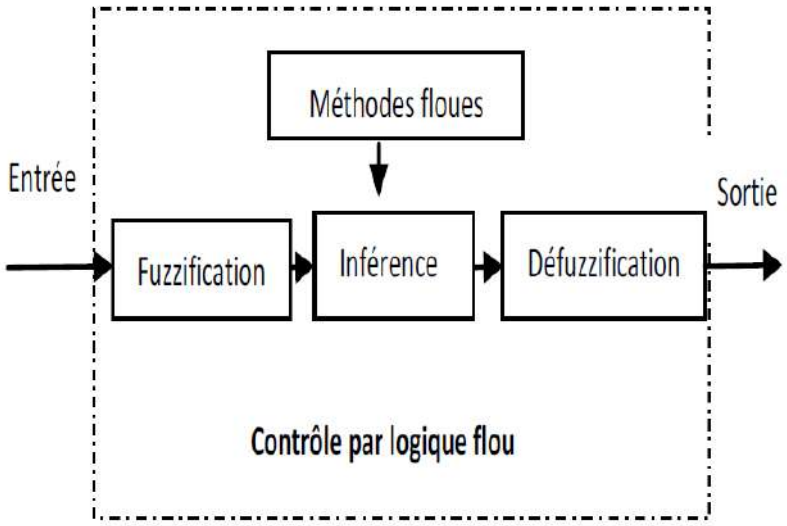


Fig3.20. Principe de la commande à logique flou.

La fuzzification permet de rendre flou les variables d'entrée. Une étape préliminaire consiste à définir un intervalle de variation maximale autorisée pour les variables d'entrées. Le but de la fuzzification est de transformer les variables d'entrée en variables linguistiques ou variables floues. Dans notre cas, on a deux variables d'entrées qui sont l'erreur E(k) et la variation d'erreur CE à l'instant k qui sont définis comme suit :

$$E(k) = \frac{P_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)} \tag{3.72}$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \tag{3.73}$$

Ainsi ses variables seront qualifiés Négatif Grand (NG), Négatif Petit (NP), Erreur nul ou bien zéro (EZ), Positif Petit (PP) et Positif Grant (PG) (Fig.21)

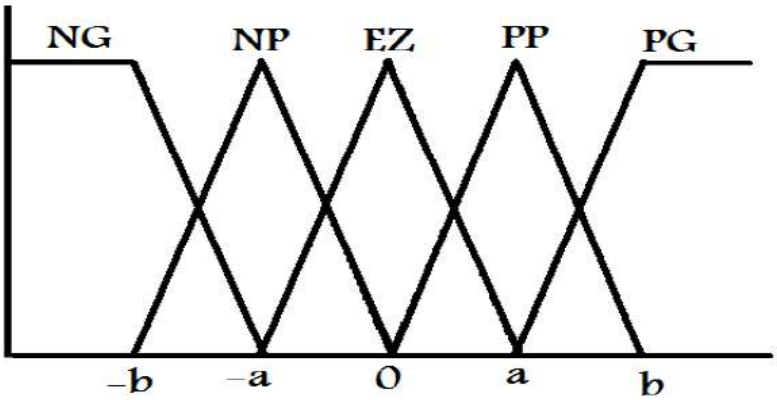


Fig 3.21. Degré d'appartenance des variables.

L'inférence est une étape qui consiste à définir un rapport logique entre les entrées et la sortie. En effet, des règles d'appartenance vont être définies pour la sortie comme ça était fait pour les entrées, grâces à ces règles un tableau d'inférence peut être dressé (Tableau.3. 1) .

Il est évident qu'une bonne connaissance du système est requise pour le développement d'un tel régulateur. En effet, en règle générale, une valeur d'entrée est définie par deux fonctions floues avec des degrés différents, ainsi la sortie sera elle aussi définie par plusieurs fonctions, la question étant de savoir avec quels degrés d'appartenance. Plusieurs méthodes peuvent répondre à cette question. De notre part, nous avons utilisé la méthode MAX-MIN.

Enfin, il nous faut réaliser l'opération inverse de la fuzzification, ici nous devons calculer une valeur numérique compréhensible par l'environnement extérieur à partir d'une définition floue est c'est le but de la défuzzification.

E\CE	NG	NP	EZ	PP	PG
NG	EZ	EZ	NG	NG	NG
NP	EZ	EZ	NP	NP	NP
EZ	NP	EZ	EZ	EZ	PP
PP	PP	PP	PP	EZ	EZ
PG	PG	PG	PG	EZ	EZ

Tableau.3.1. Tableau d'inférence.

Les figures suivantes présentent les réponses de générateur photovoltaïque à l'aide des trois contrôleurs dans des conditions standards

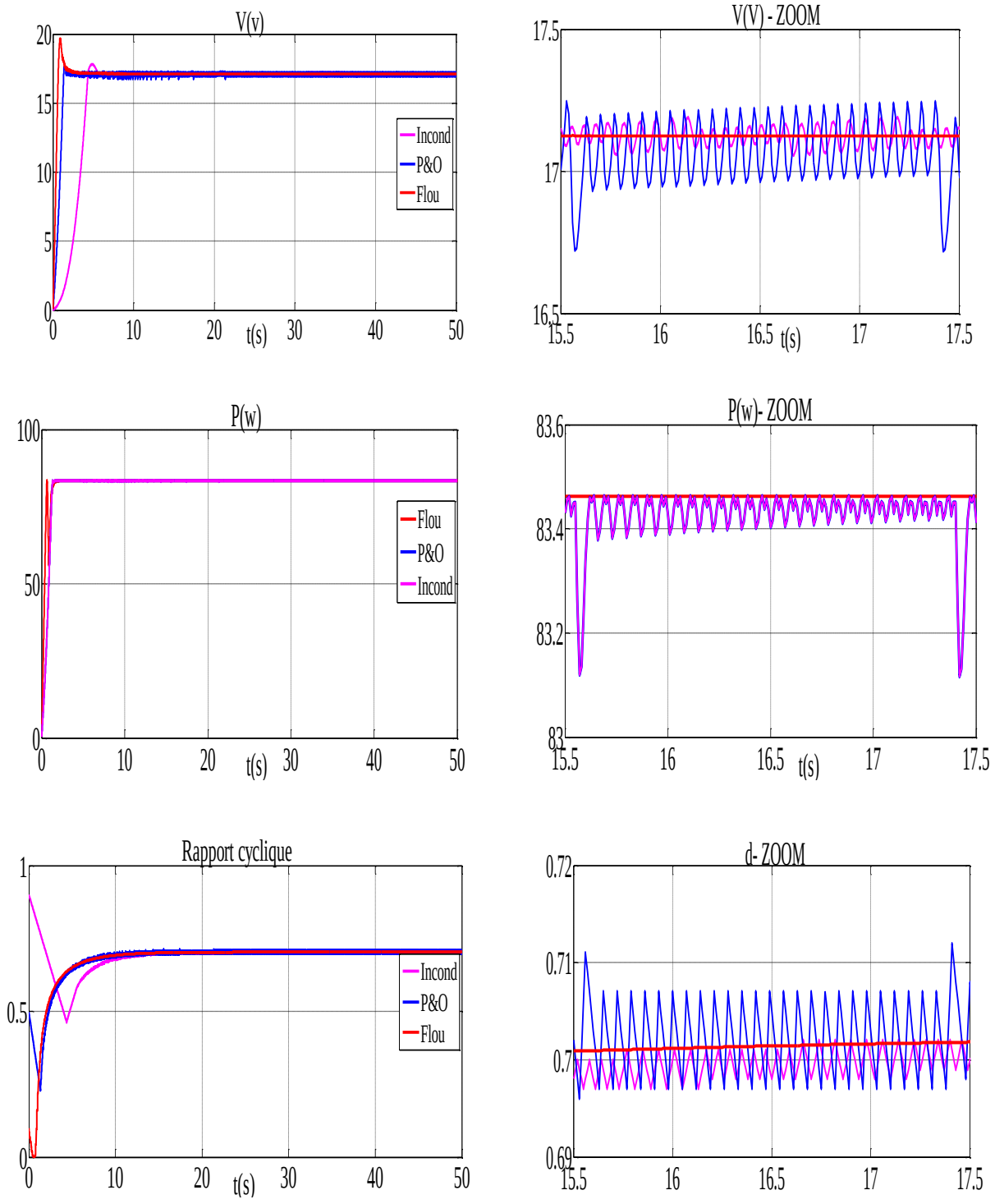


Figure 3.22: Réponse des trois contrôleurs dans les conditions standards.

On constate que le régime transitoire est plus long pour le système commandé par l'algorithme conductance incrémentale.

En régime permanent, le régulateur flou est parfaitement calé sur le point de puissance maximale, alors que les régulateurs P&O et conductance incrémentale oscilles autour de ce point.

- Robustesse vis-à-vis des variations de l'éclairement

Pour une température standard, on simule une augemntation de l'éclairement de 300 w/m^2 à 1000 w/m^2 pendant 50 s, on refait l'experience, dans l'autre sens on déminuant l'éclairement de 1000 w/m^2 à 300 w/m^2 durant le meme laps de temps.

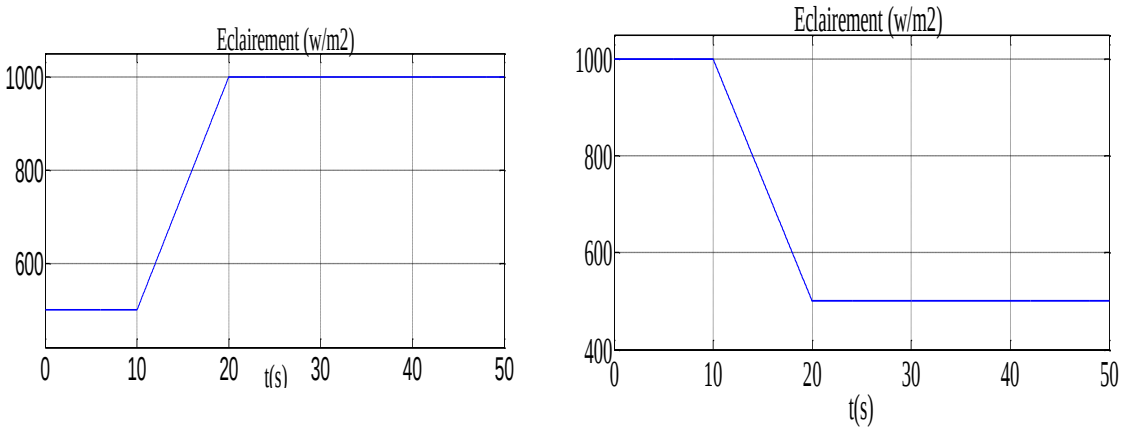


Figure 3.23: Variation de l'éclairement en fonction de temps.

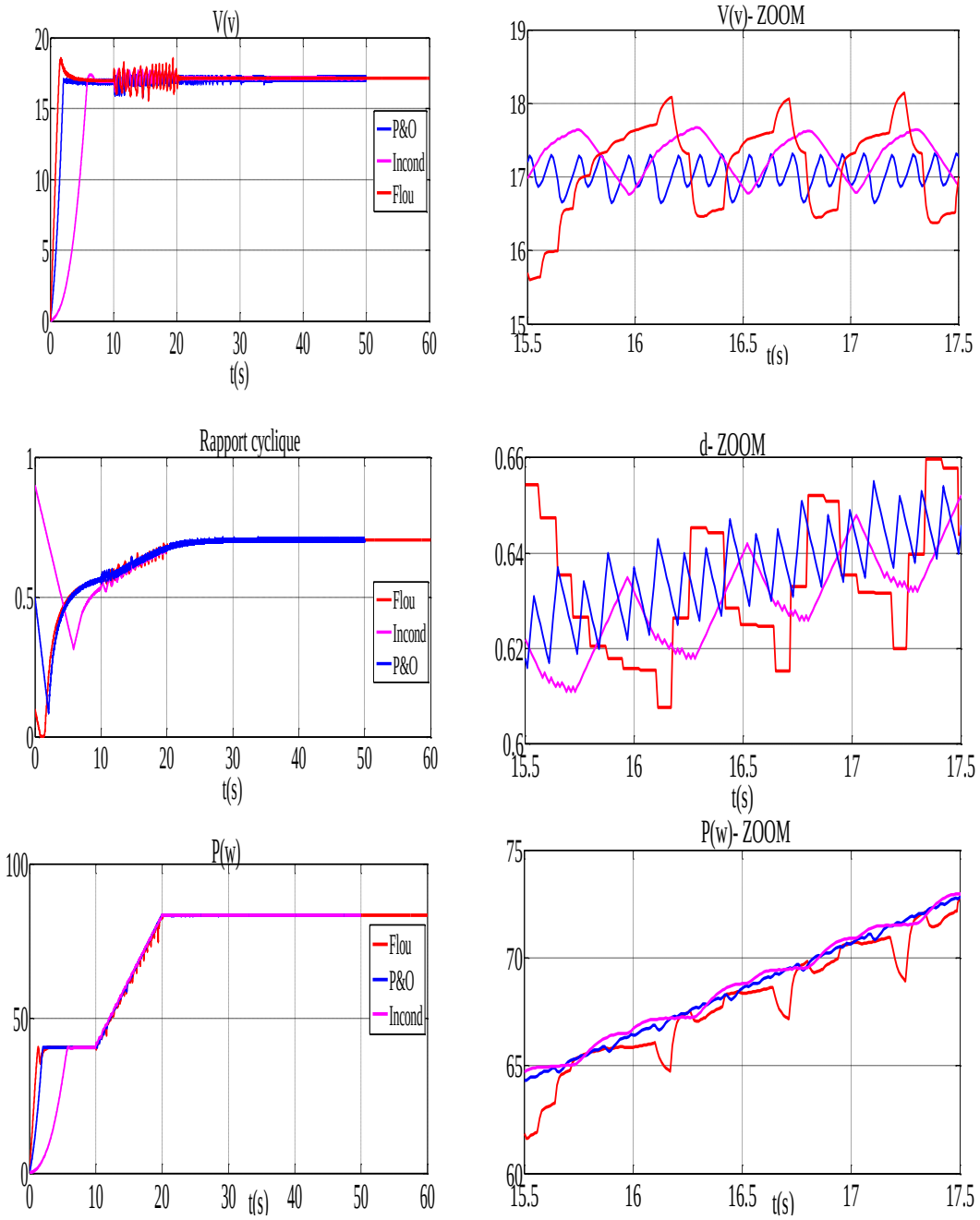


Fig3.24:Réponse des trois contrôleurs lors d'une augmentation de l'éclairement.

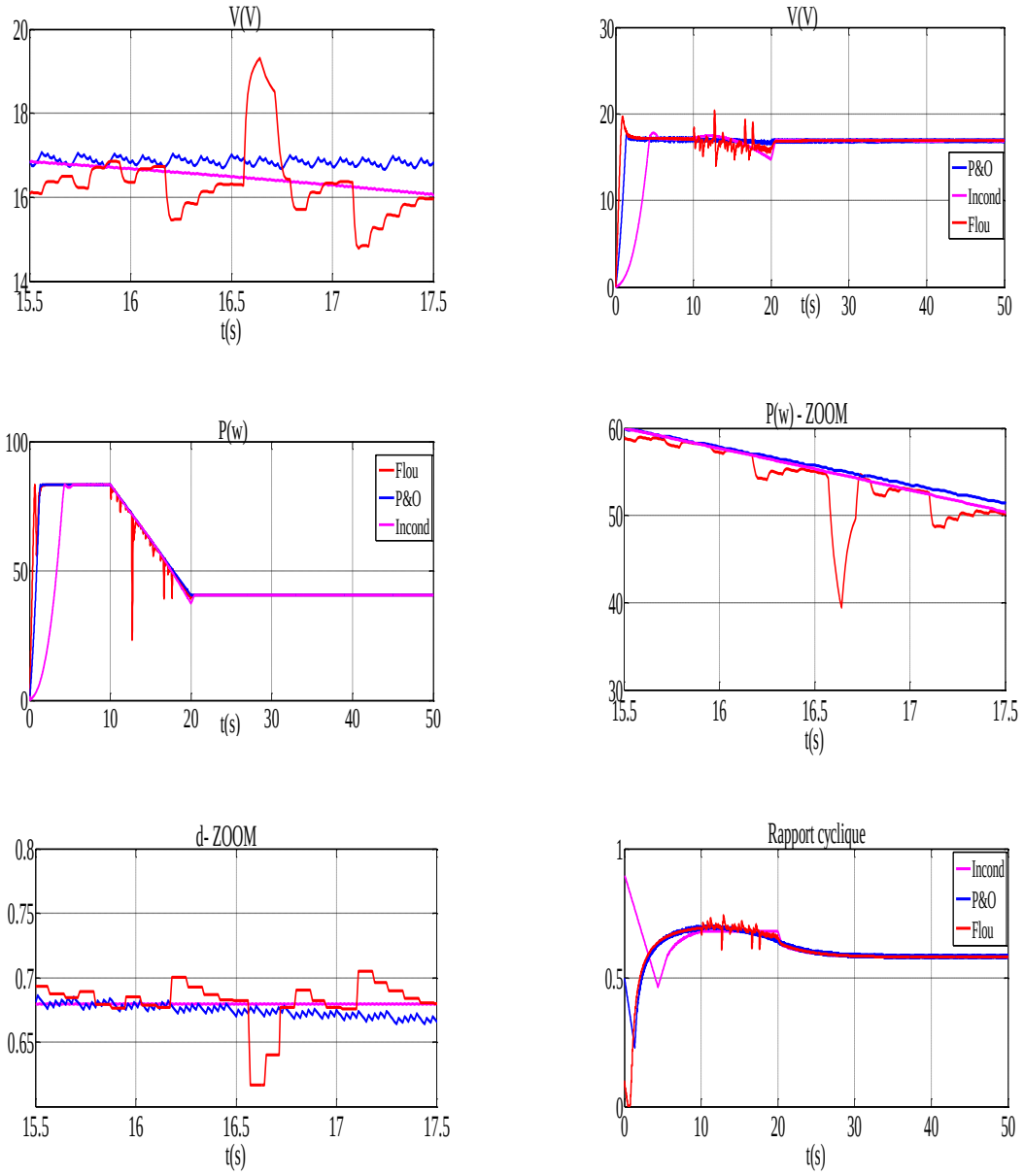


Figure 3.25: Réponse des trois contrôleurs lors d'une diminution de l'éclairement.

Nous avons remarqué au changement de l'éclairement, le dispositif converge vers la puissance maximal, autour duquel il va osciller, c'est à dire le GPV est perturbé a ce point.

Dans les trois cas les régulateurs, P&O Conductance Incrémentale et flou, convergent vers le point PPM, mais le système contrôlé par logique floue évolue avec le PPM d'une manière plus harmonieuse comparé aux deux autres régulateurs.

- Robustesse vis-à-vis des variations de la température

Pour un éclairement fixé à 1000 W/m^2, on simule une augemntation de la température de 298 °K à 348 °K pendant 50 s, on refait l'experience, dans l'autre sens on déminuant la température de 348 °K à 298 °K durant le meme laps de temps.

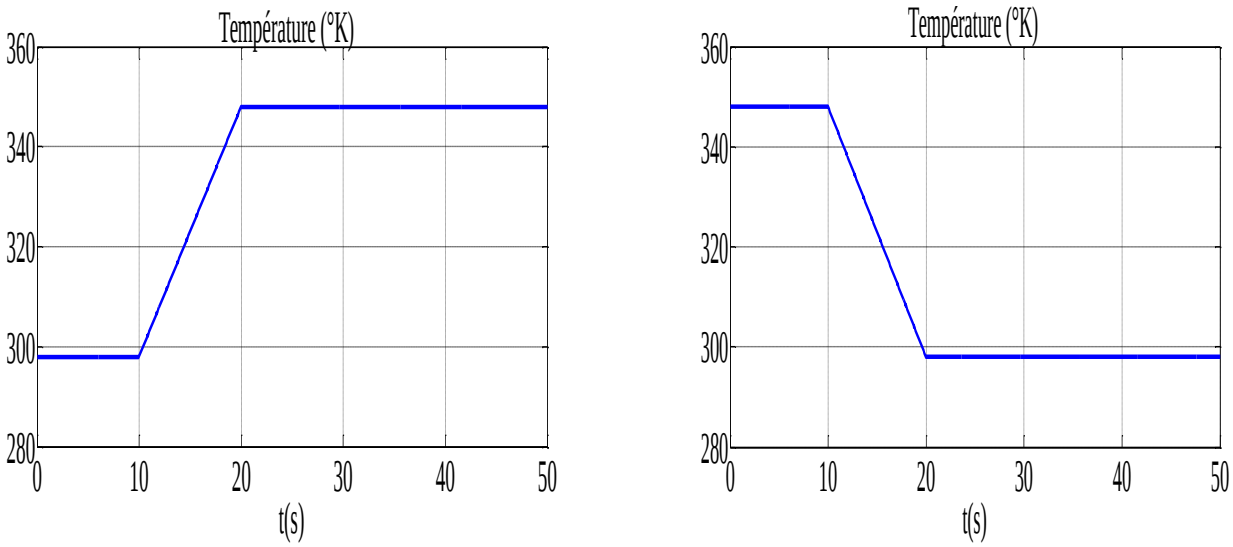


Figure 3.26 : variation de la température en fonction de temps

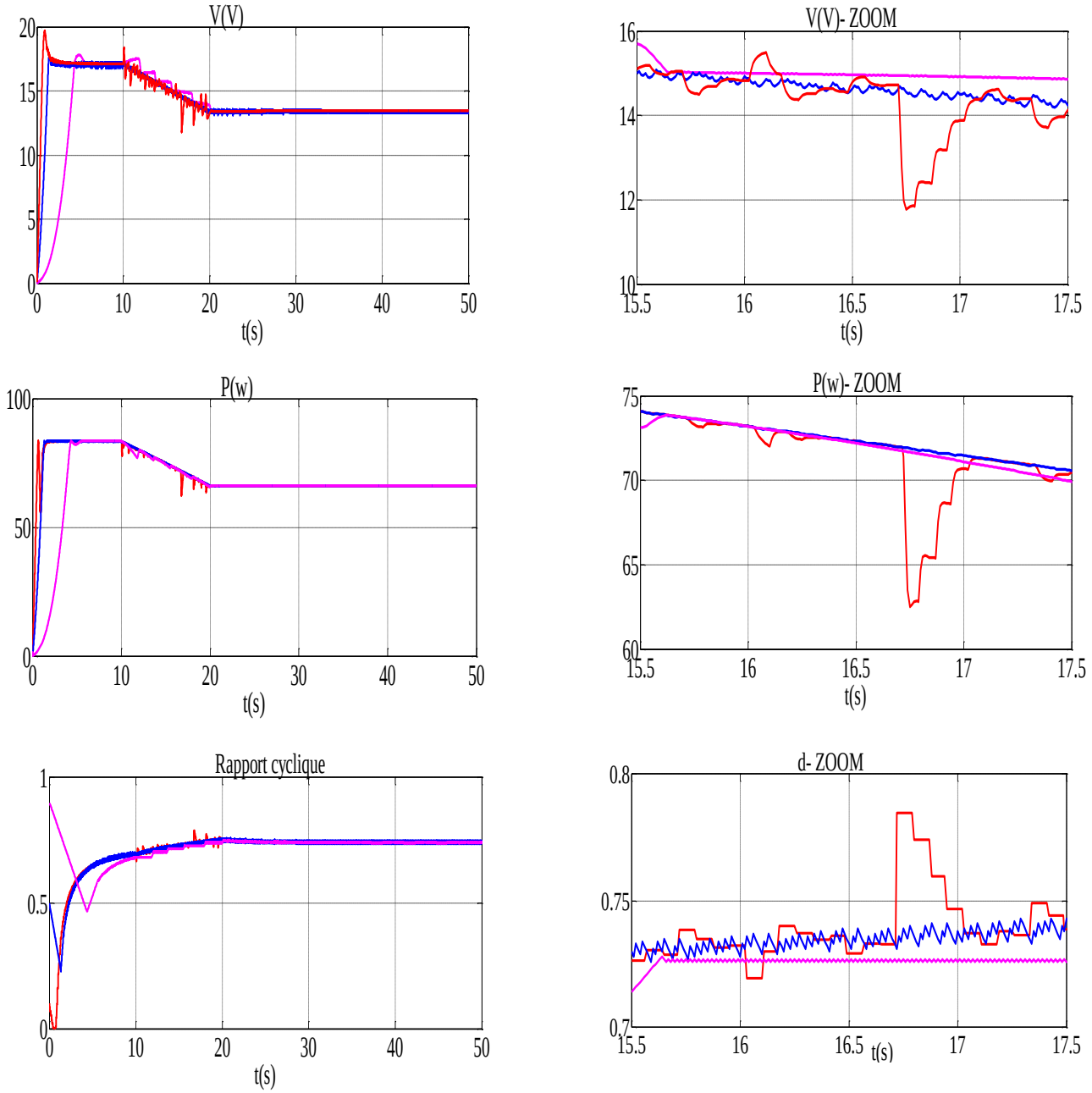


Figure 3.27: Réponse des trois contrôleurs lors d'une augmentation de la température

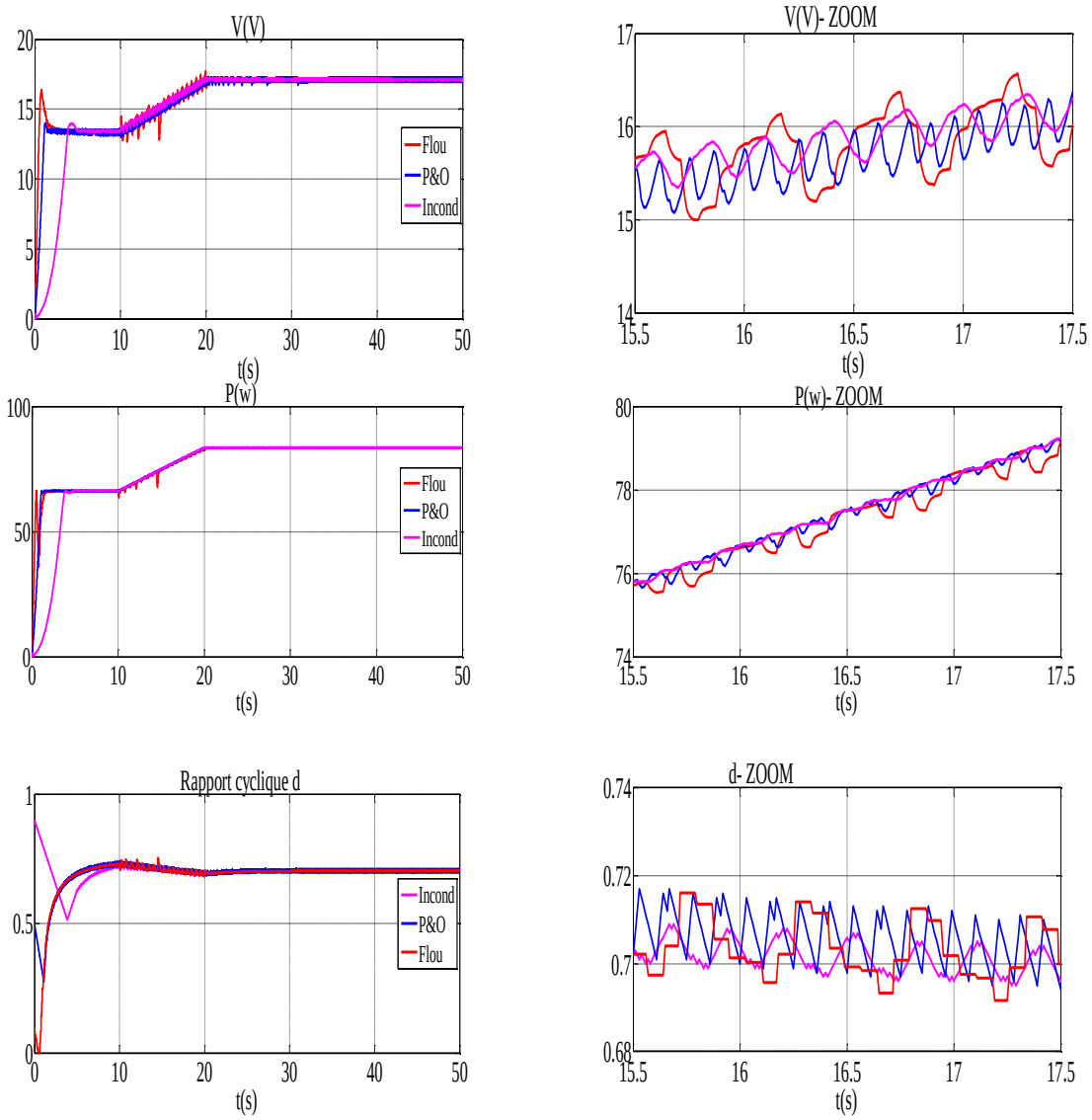


Figure 3.28: Réponse des trois contrôleurs lors d'une diminution de la température.

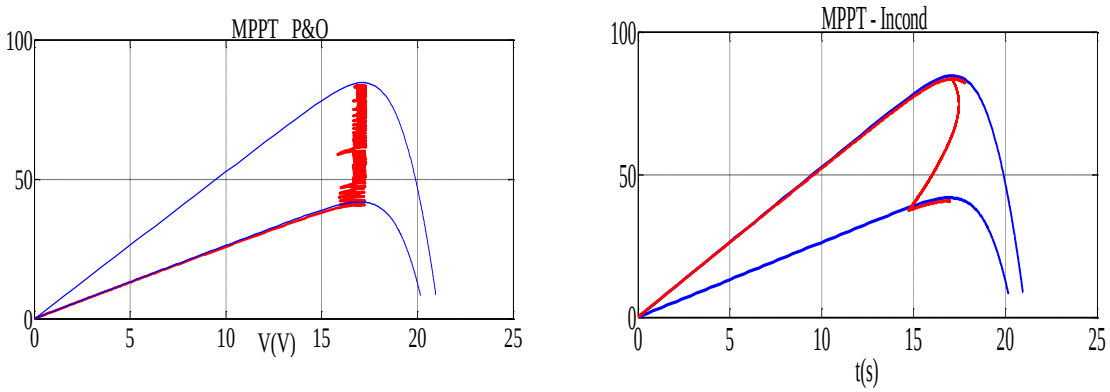


Figure 3.29: évolution du point de fonctionnement du GPV respectivement lors d'une augmentation et une diminution de l'éclairement.

Les trois contrôleurs donnent des bons résultats avec un net avantage pour le contrôleur flou qui est caractérisée par un meilleur temps de réponse pour la poursuite du PPM et un régime transitoire plus harmonieux que celui obtenu en utilisant les deux autres régulateurs.

3. 3.. Modélisation du convertisseur bidirectionnel (Onduleur-redresseur) à deux niveaux

3. 3.1. Définition

L'onduleur est un convertisseur d'électronique de puissance qui permet la conversion continue alternative. Il fonctionne en commutation forcée et conçu généralement à base de transistors (IGBT, GTO, MOSFET…). Sa commande peut être réalisée par la technique classique ou par la technique de Modulation de Largeurs d'Impulsions (MLI). [67]

L'onduleur est le cœur du système d'alimentation. Il est formé de trois bras indépendants portant chacun deux interrupteurs. Un interrupteur est composé d'un transistor et d'une diode en antiparallèle. Il permet d'imposer à la machine des tensions ou des courants à amplitude et fréquence variables [68]. La figure 3.26, représente le schéma de principe d'un onduleur triphasé qui alimente la machine.

Le rotor de la MADA est alimenté par un onduleur de tension à deux niveaux équipé avec des dispositifs semi-conducteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture. Pour faciliter la modélisation du convertisseur de puissance, on suppose que les interrupteurs semi-conducteurs sont parfaits [69].

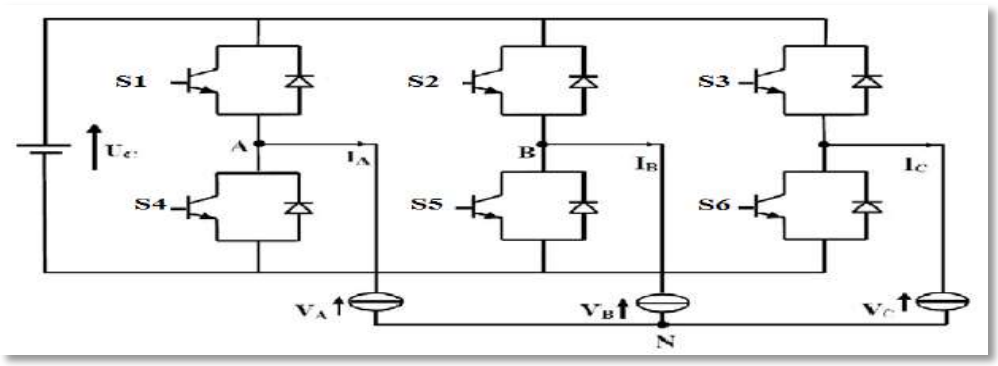


Figure 3.30: Onduleur de tension à deux niveaux.

On peut exprimer les tensions en ligne en fonction de la tension dans l'étape continue et de l'état des commutateurs. On définit pour ça les variables(S_a, S_b, S_c)en fonction de l'état des commutations dans les trois branches du convertisseur. [70].

Bras1

$S_a = 0$ Si S_1 est en position off et S_4est à on.

$S_a = 1$ Si S_1 en position on et S_4est à off.

Bras 2

$S_b = 0$ Si S_2 est en position off et S_5 est à on.

$S_b = 1$ Si S_2 en position on et S_5 est à off.

Bras 3

$S_C = 0$ Si S_3 est en position off et S_6 est à on.

$S_C = 1$ Si S_3 en position on S_6 à off.

Les tensions composées à la sortie du convertisseur s'expriment alors par :

$$U_{AB} = V_A - V_B = S_a U_c - S_b U_c - 0 S_c U_c \quad (3.74)$$

$$U_{BC} = V_B - V_C = S_b U_c - S_c U_c - 0 S_a U_c \quad (3.75)$$

$$U_{CA} = V_C - V_A = S_c U_c - S_a U_c - 0 S_b U_c \quad (3.76)$$

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} . U_c \quad (3.77)$$

Si on prend en compte l'équilibre des tensions :

$$V_a + V_b + V_c = 0 \quad (3.78)$$

On en déduit les expressions des tensions simples par rapport aux tensions composées comme suit :

$$V_A = \frac{1}{3} U_c (2S_a - S_b - S_c) \quad (3.79)$$

$$V_B = \frac{1}{3} U_c (-S_a + 2S_b - S_c) \quad (3.80)$$

$$V_C = \frac{1}{3} U_c (-S_a - S_b + 2S_c) \quad (3.81)$$

D'où on obtient :

$$V_a = \frac{U_C}{3}(2.S_a - S_b - S_c) \quad (3.82)$$

$$V_B = \frac{U_C}{3}(2.S_b - S_a - S_c) \quad (3.83)$$

$$V_C = \frac{U_C}{3}(2.S_c - S_b - S_a) \quad (3.84)$$

Ou encore sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{U_C}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ 1 & -1 & 2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (3.85)$$

La tension de sortie de l'onduleur est contrôlée par la technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) triangulé-sinusoïdale qui permet le réglage simultané de la fréquence et de la valeur efficace de tension de sortie et la technique de modulation vectorielle [69].

3.3. 2. Principe de la MLI

La MLI consiste à former chaque alternance de la tension de sortie de l'onduleur par un ensemble d'impulsions sous forme de créneaux rectangulaires de largeurs modulées de telle sorte à rapprocher cette tension vers la sinusoïde. En effet, la MLI permet de reconstituer ces tensions (ou courants) à partir d'une source à fréquence et à tension fixe (en général une tension continue). Le réglage est effectué par les durées d'ouverture et de fermeture des interrupteurs et par les séquences de fonctionnement [69], cette stratégie est caractérisée par deux

Paramètres m etr, m est l'indice de modulation qui est défini comme étant le rapport de la fréquence de la porteuse sur la fréquence de la tension de référence$f$:

$$m = \frac{f_p}{f} \quad (3.86)$$

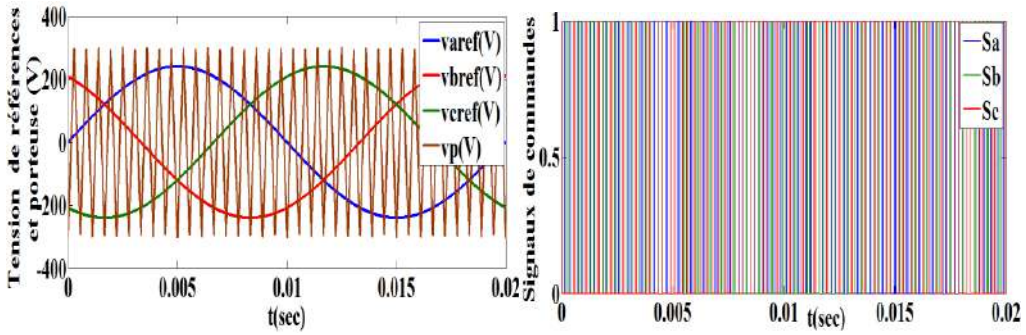
le taux de modulation(r) qui est le rapport de l'amplitude de la tension de référence(V_{ref}) et celle de la porteuse(V_P) :

$$r = \frac{V_{ref}}{V_P} \quad (3.87)$$

Le choix d'un indice de modulation(m) multiple de trois nous permet d'éliminer les harmoniques d'ordre trois qui représente un handicape de cette technique. Cependant, le taux de modulation(r) varie suivant la référence imposée

3.3.3. Stratégie de la commande MLI triangulo-sinusoïdale

Le principe de cette technique consiste à comparer un signal triangulaire (P) d'amplitude fixe et de fréquence nettement supérieure appelée porteuse, au trois signaux



a b

Figure 3.31: a) Principe de la MLI sinus triangle b) signes de commande de l'onduleur

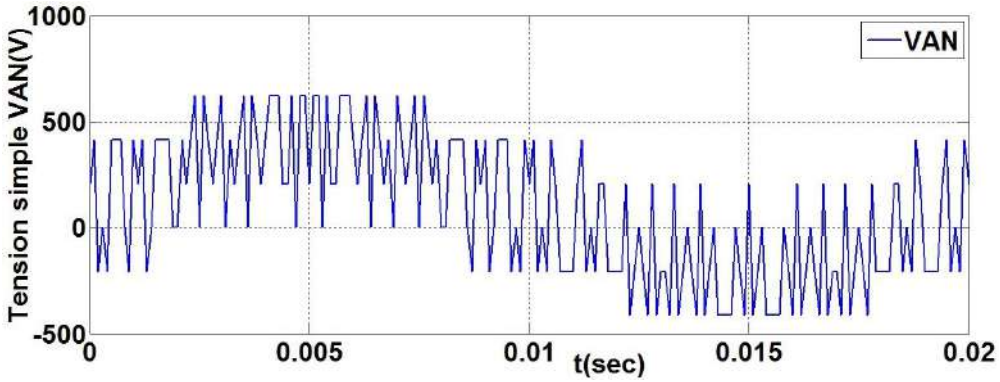


Figure 3.32: Tension de sortie simple de l'onduleur.

sinusoïdaux (r1,r2,r3), d'amplitude variable et de fréquence f appelée référence. L'intersection de ces deux signaux donne les instants de commutation des interrupteurs.

3.3. 4. Stratégie de la modulation vectorielle

La modulation vectorielle permet de suivre le vecteur de tension de référence et non pas chaque tension de référence de phase séparément [71]. Son principe est identique à celui de la stratégie triangulé–sinusoïdale à échantillonnage régulier avec injection de l'harmonique trois

On définit à partir du vecteur de référence $V_{Sref}, V_{sref} = (V_{ref1}, V_{ref2}, V_{ref3})^t$ deux niveaux vecteurs de référence V_{Sref1} etV_{Sref0} , Le vecteur de référence V_{Sref1}est associé à l'onduleur à deux niveaux constitué des demi-bras du haut de l'onduleur multi niveaux, alors que le vecteurV_{Sref} est associé aux demi-bas du bas.

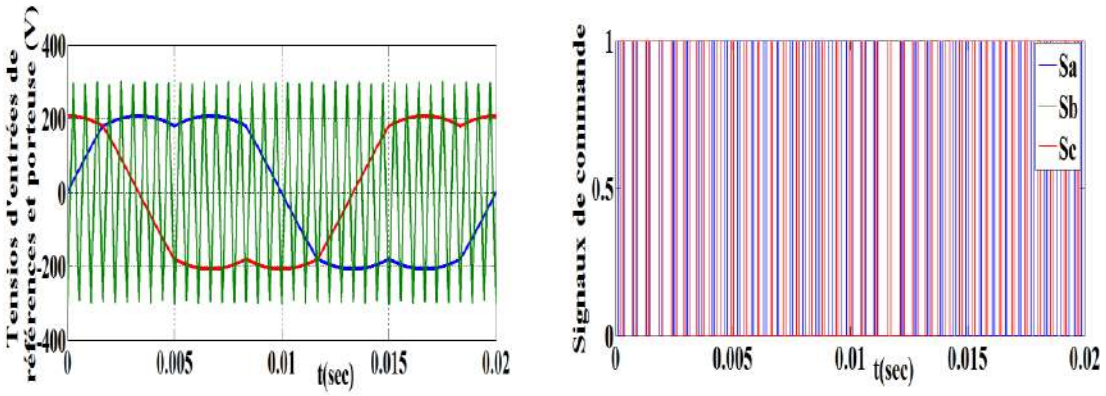
Ces deux nouveaux vecteurs de référence sont définis par le système d'équations suivant [72][73].

$$V_{Sref1}[i] = V_{Sref}[i] + V_0 \quad (3.88)$$

$$V_{sref}[i] = V_{sref}[i] - V_0, \text{ avec i=1,2, 3} \quad (3.89)$$

La tension V_o est donnée par l'expression suivante :

$$V_0 = \frac{[max(V_{Sref}) + min(V_{Sref})]}{2} \quad (3.90)$$



a) b)

Figure 3.33: a) Les tensions de l'onduleur à deux niveaux b) signaux de commandes de l'onduleur

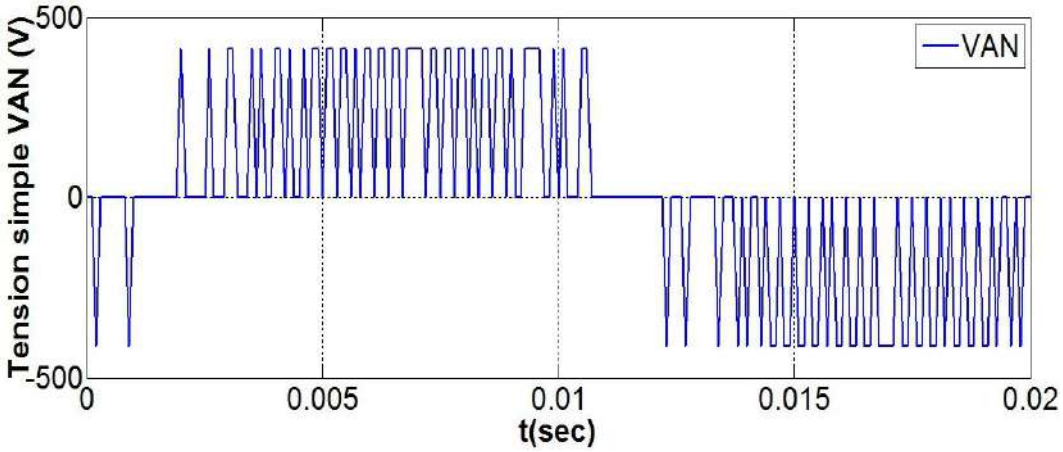


Figure 3.34: Tension simple à la sortie de l'onduleur.

3.4. Conclusion :

Nous avons vus dans ce chapitre, la modélisation d'un générateur photovoltaïque en utilisant le modèle à une et à deux exponentielles. Ce dernier est le modèle le plus adapté pour une bonne compréhension des phénomènes physiques intervenant dans chaque région du dispositif, ainsi que pour une simulation adéquate du fonctionnement des cellules solaires. La simulation effectuée nous a permis d'obtenir des caractéristiques très proches de celles du générateur photovoltaïque réel, ce qui nous a permis de valider notre modélisation. Comme les caractéristiques du générateur photovoltaïque dépendent des paramètres internes de ce dernier et des paramètres météorologiques, il nous a paru nécessaire d'étudier l'influence de ces paramètres sur les caractéristiques de sortie des générateurs photovoltaïques.

Par ailleurs, nous avons constaté que l'influence de la variation des paramètres internes de la cellule sur les caractéristiques du GPV est moins importante que celle des paramètres météorologiques. Ainsi, dans la suite de notre travail on s'intéressera uniquement à l'étude de l'influence des paramètres météorologique sur les caractéristiques du générateur photovoltaïque, Dans le prochain chapitre, nous allons étudier la Modélisation et Commande d'une chaine de conversion éolienne.

4.1. Introduction :

La croissance de la consommation en particulier et la tarification des ressources fossiles provoquent des difficultés au niveau mondial. L'énergie électrique et une tendance à la libéralisation Sont à l'origine de changements considérables, tant dans le domaine des réseaux d'alimentation que pour le remplacement du parc des centrales électriques.

On pose un modèle de système hybride (PV .GD .Batterie) qui assuré une puissance promet de 30KW et amélioré la qualité de l'énergie.

Dans ce chapitre on commencera par la description de ce système hybride, une simulation du model de système on utilisant le Matlab Simulink, application des méthodes d'optimisation pour minimisé le coût du système et en finalise le chapitre par une conclusion.

4.1.2. Principe de fonctionnement:

Un système hybride (PV/DIESEL) avec batterie d'accumulateur comprend généralement différents composants de base, comme l'indique la figure 4.1.

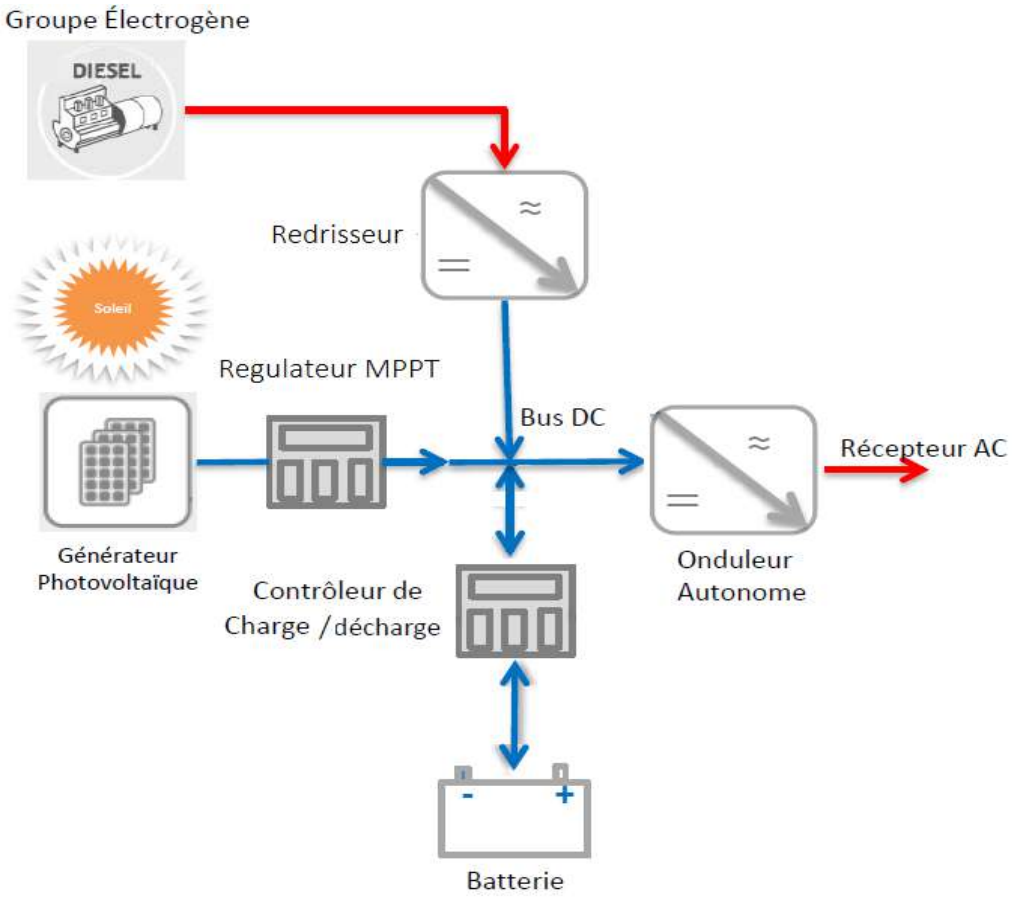


Figure 4.1 Principe de fonctionnement d'un système hybride.

L'énergie fournie par le générateur PV (ou champ PV) en période d'ensoleillement est injecter dans le Bus DC via le régulateur MPPT, cette énergie fournée la puissance promet aux utilisations AC raccordées sur le Bus DC via un onduleur autonome et charge la batterie via le contrôleur de charge.

La batterie d'accumulateurs assure le stockage de l'énergie électrique produite, et Le contrôleur de charge protège la batterie contre la surcharge.

Le groupe électrogène intervient, si besoin, pour apporter un complément d'énergie en cas d'insuffisance du solaire ou de surconsommation.

Cette architecture des systèmes PV autonomes peuvent apporter une réponse fiable pour la satisfaction des besoins des utilisateurs, sous réserve que ceux-ci soient bien connus et maitrisés, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment pour faire face à l'évolution de la consommation dans le temps.

Sur le plan technique, le fait de disposer d'un groupe électrogène, source d'énergie pilotable à la demande, permet de réduire la taille du champ PV et de la batterie, car l'énergie manquante peut être à tout moment fournie par le groupe électrogène.

Dans un réseau alimenté par une centrale Diesel et PV, l'intégration d'un contrôleur hybride permet de maximiser la taille du centrale PV et diminue au maximum le carburant, conservant la qualité de service 24/24-7/7.

Les avantages:

- Alimentation des utilisations sous un signal de qualité (tension et fréquence bien définies).
- Séparation des fonctions onduleur et chargeur, qui facilite la maintenance en cas de défaillance.
- Absence de microcoupure aux niveaux des utilisations.
- Phase équilibrées sur le groupe électrogène.
- Matériels de conversion d'énergie classique.
- Puissance de chargeur indépendante de la puissance de l'onduleur.
- Solution bien adaptée lorsque le signal de sortie du GE est de mauvaise qualité.
- la synchronisation avec le réseau est toujours est assuré par l'onduleur car le GE est connecter au Bus DC via un redresseur.

Inconvénients:

- Pertes énergétiques importantes engendrées par la chaine (groupe électrogène, redresseur, onduleur, utilisations AC).

Mais cet inconvénient est tolérable car le GE n'est utiliser que dans les de secours pour assurer la continuité du service.

4-2.Simulation du model du système propose

4.2.1.Vue global du système :

Le système est composé d'un champ des panneaux photovoltaïque relié avec un MPPT pour assurer l'utilisation la puissance max disponible, la sortie de le hacheur MPPT est connecté sur le bus de courant continue, ce dernier est contrôler par un système de gestion qui assure la stratégie de contrôle.

Un onduleur est connecté sur le bus de courant continue pour convertie la tension continue en tension alternatif, ensuit la tension alternatif est injecter au réseau à travers un transformateur élévateur de tension.

Un groupe électrogène avec un redresseur triphasé pour faciliter l'injection sur le bus continue.

Notre model utilise des composons avec les caractéristiques suivantes:

- Le système est connecter au réseau et assure une puissance promet constante P0=30kW injecter au réseau.
- Un générateur PV de 100kWc.
- Un onduleur PV de 120kW et piloté en puissance active par le gestionnaire d'énergie.
- Un gestionnaire d'énergie pour contrôler le système.
- Un group diesel capable de 100 kW n'est allumé que dans le cas où l'énergie provient du générateur PV est insuffisante et le stockage sur batteries est inférieur à sa valeur minimale.
- Un banques des batteries capable des stocké l'énergie nécessaire pour le fonctionnement pendant la nuit soit P0*16h=480kWh.

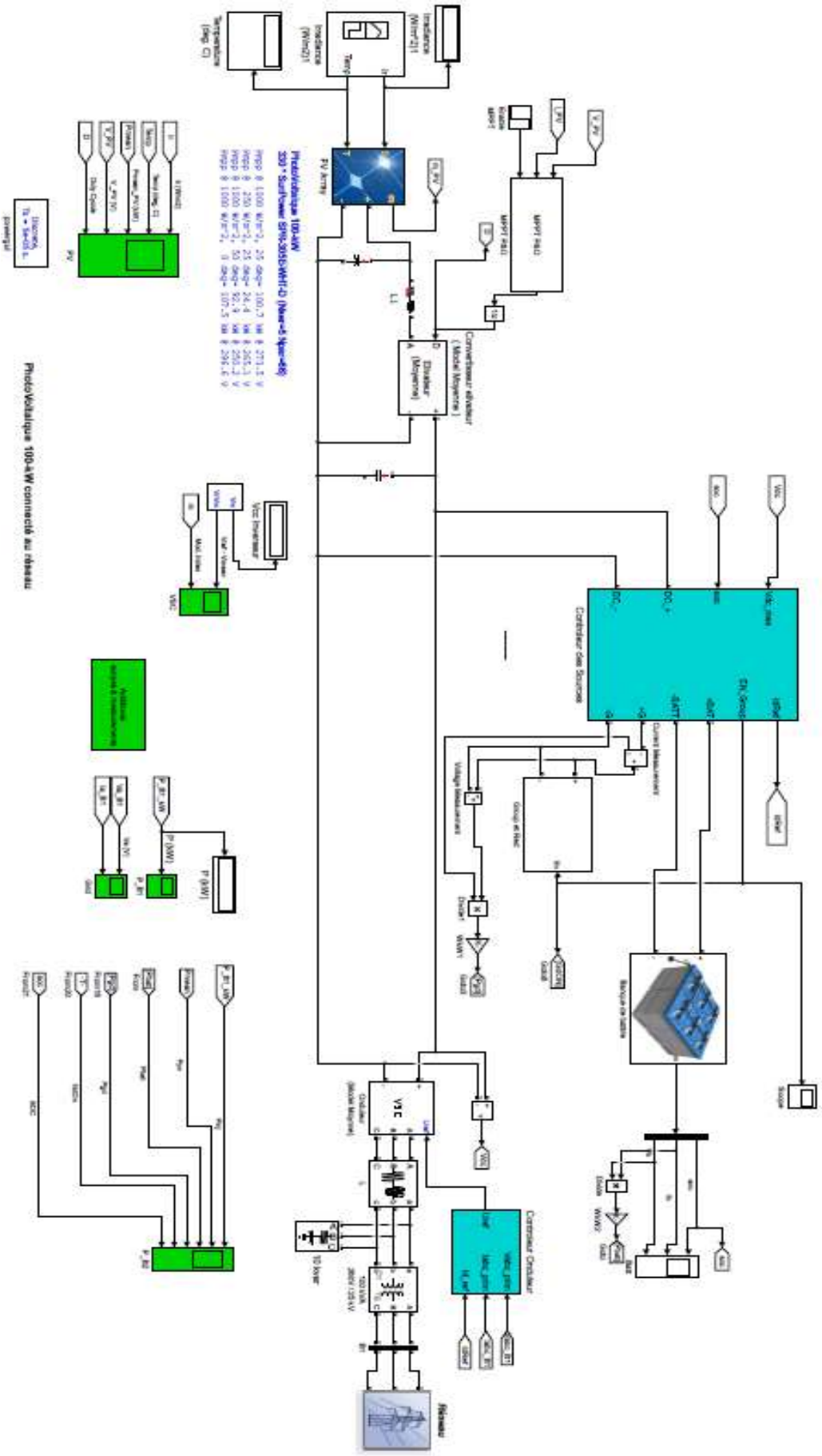


fig 4.2: vue global du model de simulation.

4.2- stratégie de gestion du système

La stratégie de gestion est très importante dans toute unité de production. Mettre en place une stratégie de gestion des ressources disponibles dans une unité permet d'une part de minimiser le coût d'exploitation sur sa durée de vie et d'autre part de garantir sa fiabilité qui est un facteur primordial pouvant motiver tout financement.

La stratégie de gestion proposée ici est basée sur des concepts énergétiques démarrage et arrêt Lorsqu'il y a une absence d'énergie de générateur PV et l'énergie de batterie ton verre à la valeur minimale de SOC. Le groupe électrogène démarre systématiquement pour assurer la continuité de service (la puissance promet de réseau).

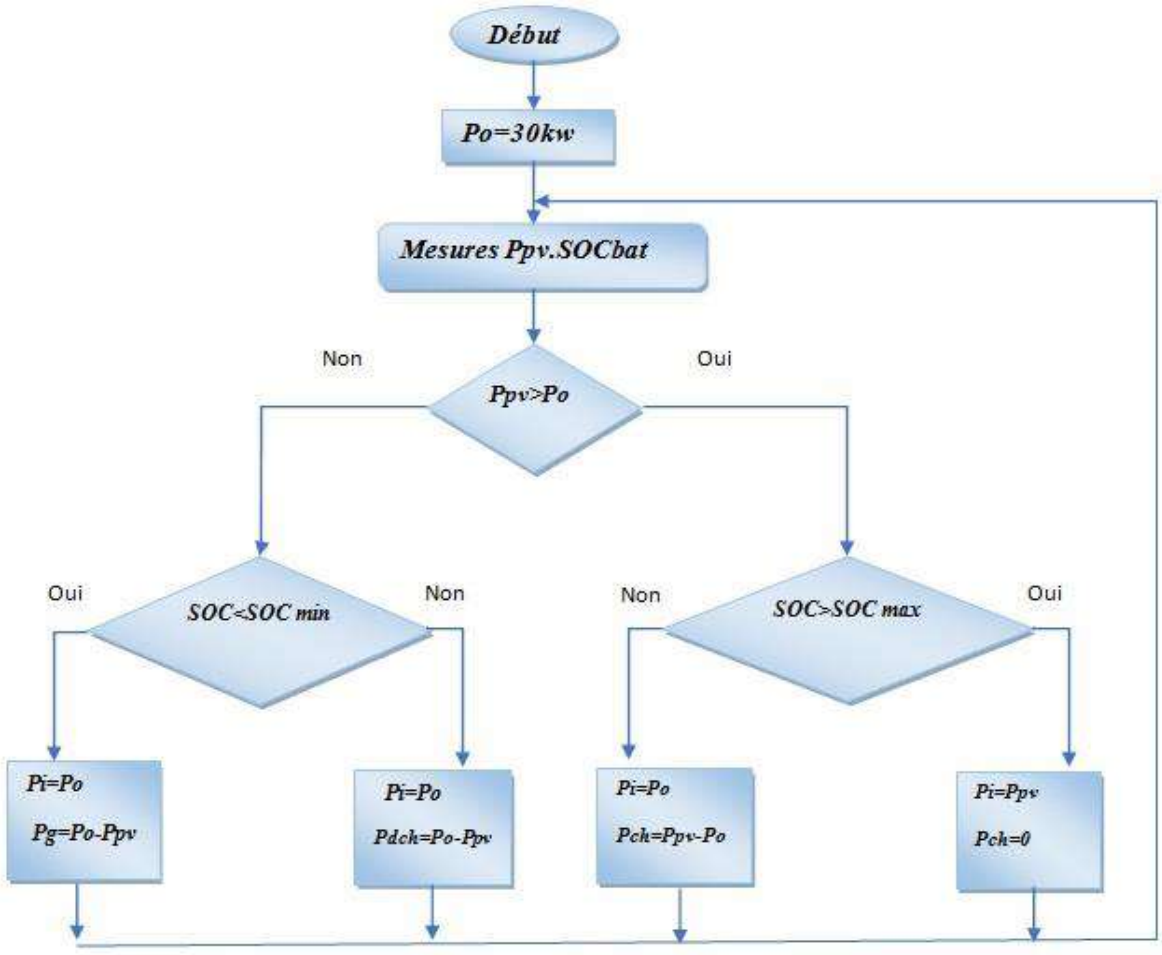


fig4.3 organigramme de gestion du system hybride.

Po : puissance Prome

Pi : puissance injecte sur réseau

Pch : puissance charge de Batterie

Pdch : puissance d'charge de Batterie.

Le système de gestion charge le temps des batteries que la puissance produite par le générateur photovoltaïque, supérieure à la puissance promet, et utilise le groupe diesel GD dans le cas de la puissance PV devient inférieure à la puissance promet et le SOC de la batterie inférieure à SOC min. (20%), utilise la batterie pour compenser le manque d'énergie, charge la batterie jusqu'à un maximum de SOC (80%), Injecte l'excès d'énergétique sur le réseau.

4.3. Résultats et Interprétation de la simulation de model du système:

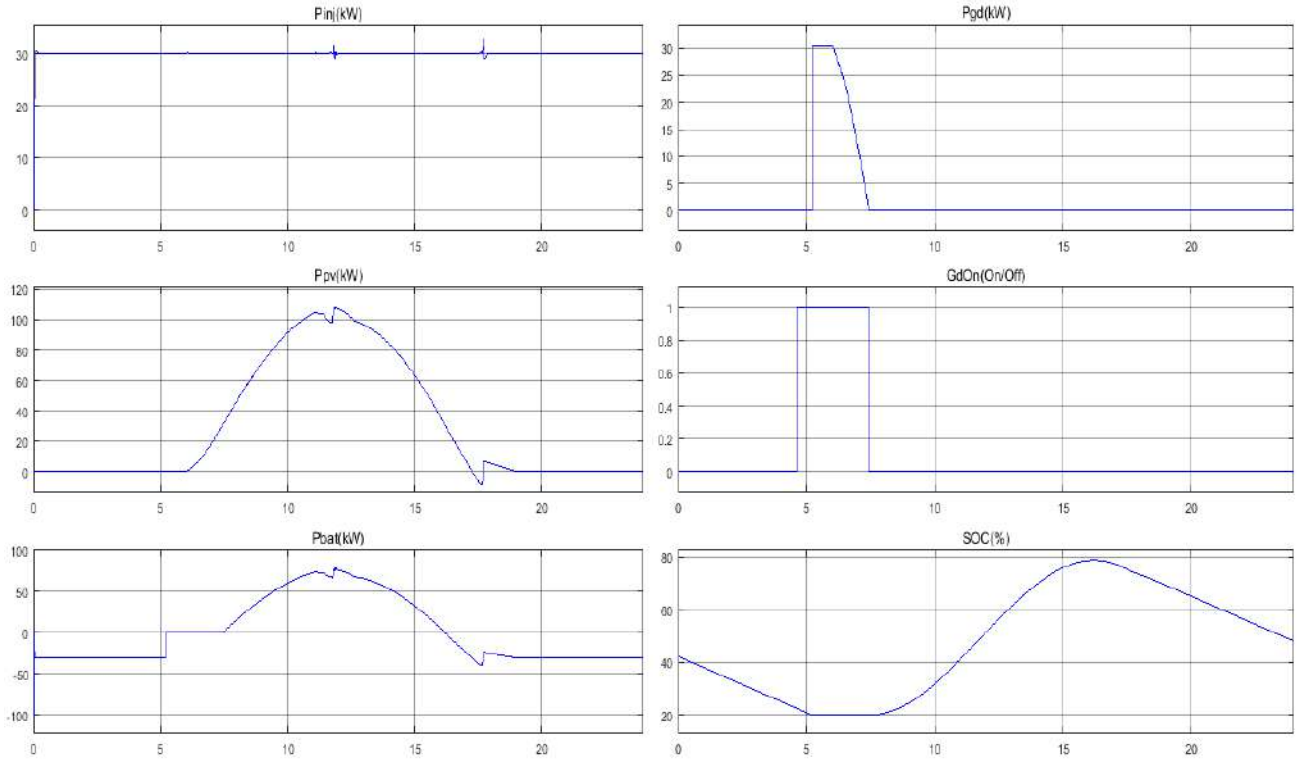


Fig 4.4: résultat simulation du modèle

4.3.1. Fonctionnement nuit :

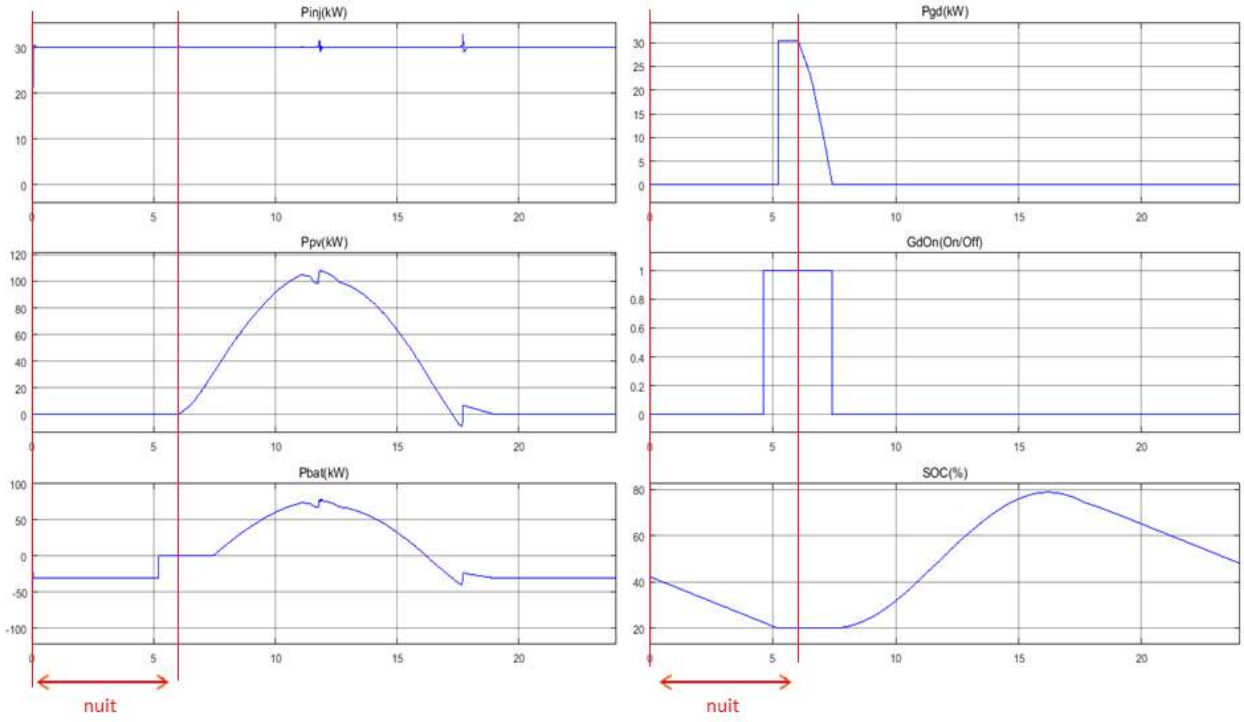


Fig4.5 : Fonctionnement nuit

La puissance injecté dans le réseau est de Pinj=30kW.

Le générateur PV ne fournit pas de puissance (nuit).

La banque des batteries est initialement chargée à 45% (SOC=45%).

Le groupe électrogène est initialement arrêté (le système consomme l'énergie stocké sur batteries)

Le système reste sur ce régime jusqu'à le stockage batteries est proche de la valeur min (SOC ≈ 22 %) le group est démarré est mise en attenante jusqu'à le soc des batteries atteint 20% le group est utilisé pour fournie le manque énergétique.

4.3.2. Fonctionnement en début de matin :

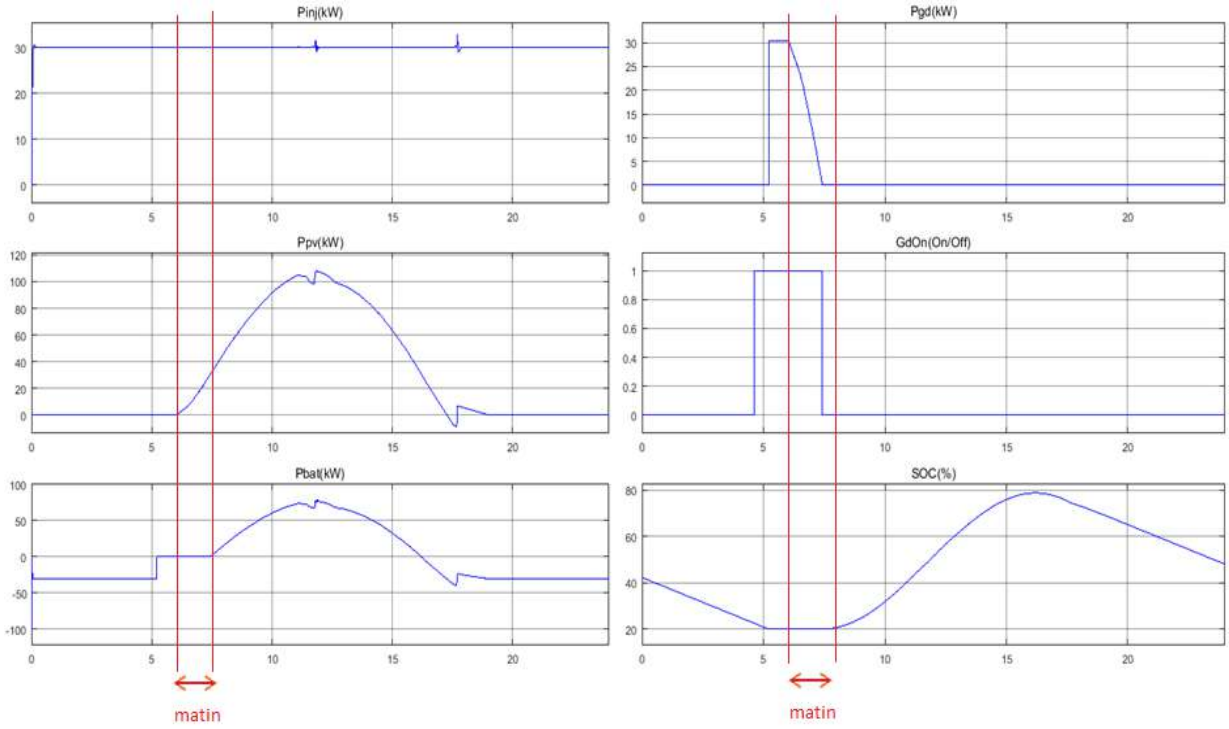


Fig4.6 : Fonctionnement en début de matin

La puissance injecté dans le réseau est de P_{inj}=30kW.

Le générateur PV fournie une puissance qui augmente graduellement avec le temps.

La banque des batteries est initialement déconnecté jusqu'à la puissance PV dépasse la puissance promet P0=30kW.

Le groupe électrogène est initialement fournie la totalité de la puissance promet, cette puissance va graduellement avec le temps jusqu'à l'arrêt complet car le générateur PV prendre sa place.

4.3.3. Fonctionnement en milieu de la journée :

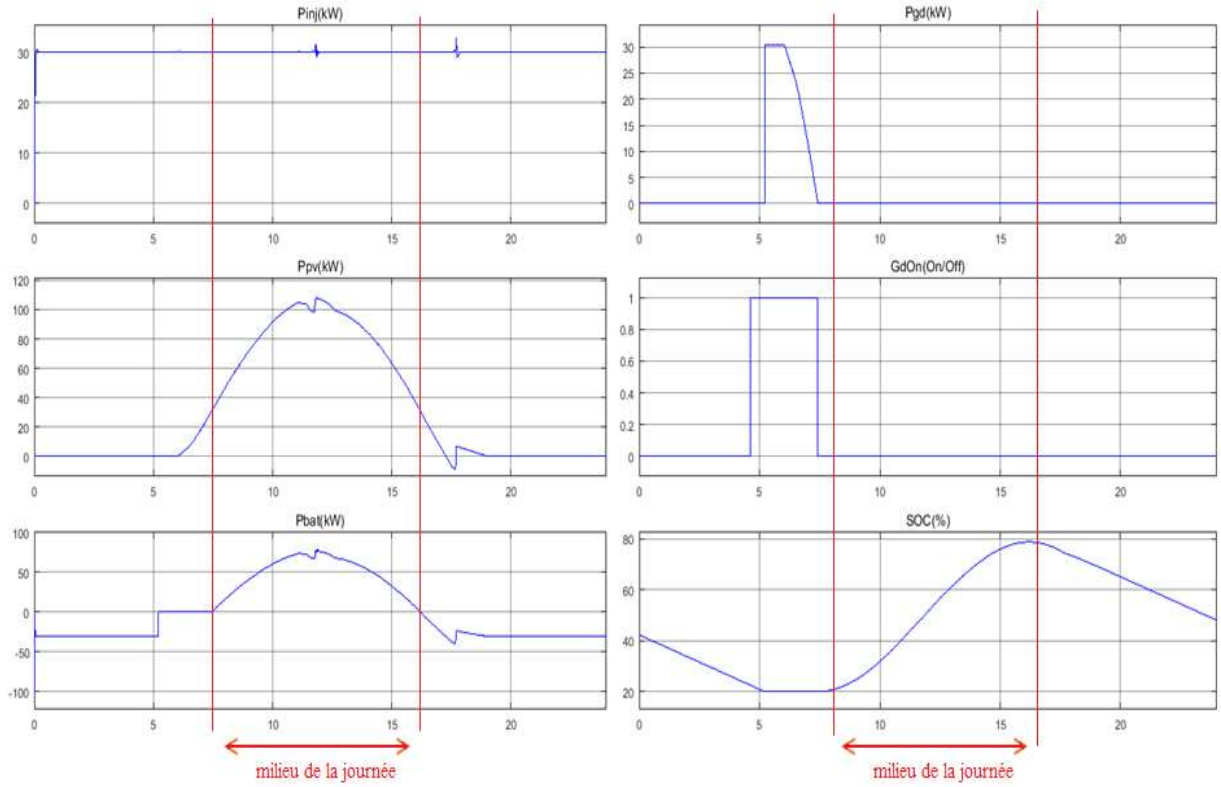


Fig 4.7 : Fonctionnement en milieu de la journée

La puissance injecté dans le réseau est de Pinj=30kW.

Le générateur PV fournie une puissance qui augmente graduellement avec le temps jusqu'à atteint sa valeur max (≈110kW).

La banque des batteries est chargée graduellement par le système jusqu'à atteint le SOC max (80 %).

Le groupe électrogène arrêté pondant toute la journée.

4.3.4. Fonctionnement en fin de journée :

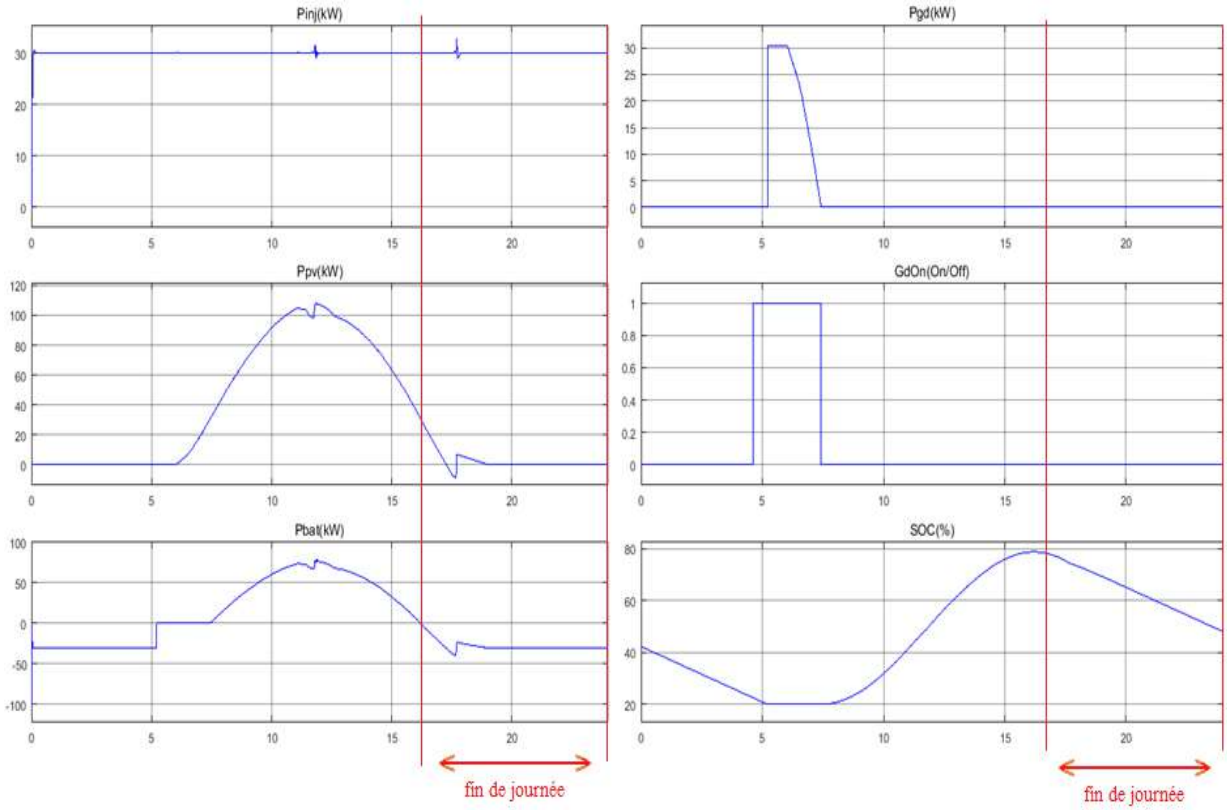


Fig 4.8 : Fonctionnement en fin de journée

La puissance injecté dans le réseau est de Pinj=30kW.

Le générateur PV fournie une puissance qui diminuer graduellement avec le temps à cause de la baisse de l'ensoleillement.

La banque des batteries est utilisé graduellement par système pour compensé le manque énergétique.

Le groupe électrogène arrêté pondant toute cette période.

4.4. Optimisation :

La procédure d'optimisation du dimensionnement du système, dans le cadre de ce travail, vise deux objectifs principaux :

- la détermination des nombres optimaux et des types de composants du système, permettant de minimiser le coût total du système
- la gestion de l'énergie produite par le système, afin de pouvoir fournir au consommateur l'énergie dont il a besoin.

Calcule de l'énergie produite par jour nécessite une simulation d'un bronche des panneaux avec la condition climatique pour chaque jour de l'année.

Cette simulation nécessite les donné climatique d'un site détaille de 365 jour et une simulation de 24heur pour chaque jour qui trop gourment en calcule (tempe de simulation élevé).

On a utilisé un autre à proche pour estimer la production journalier par bronche, cette approche et passe sur la simulation de quatre jour de l'année (21Dec, 21Mar ; 21Jui, 21Sep) et estimé les reste du jour pour une interpolation polynômiale.

On utilise le résultat obtenu ; on peut déterminer le Nppmin (nombre de bronche parallèle des panneaux) facilement par l'équation suivant :

$$E_{CJ} = \frac{24h.P_O}{\Gamma} \quad (4.1)$$

$$E_{pj} = N_{pp}.E_{pjb} \quad (4.2)$$

Où

E_{cj} : L'énergie consommée par jour.

E_{pj}:L'énergie produite par jour.

E_{pjb} : L'énergie produite par bronche pour un jour j.

N_{PP} : Nombre de bronche parallèle des panneaux.

On suppose que le stockage batterie soit suffisant pour stocker les excès d'énergie dans les bons jours pour utiliser dans les mauvis jours, ça nous permet de déterminer l'énergie produit minimale.

$$365.E_{cj} = \sum_{j=1}^{365} N_{ppmin}.E_{pjb} \tag{4.3}$$

$$N_{ppmin} = \frac{365E_{cj}}{\sum_{j=1}^{j=365} E_{pjb}} \tag{4.4}$$

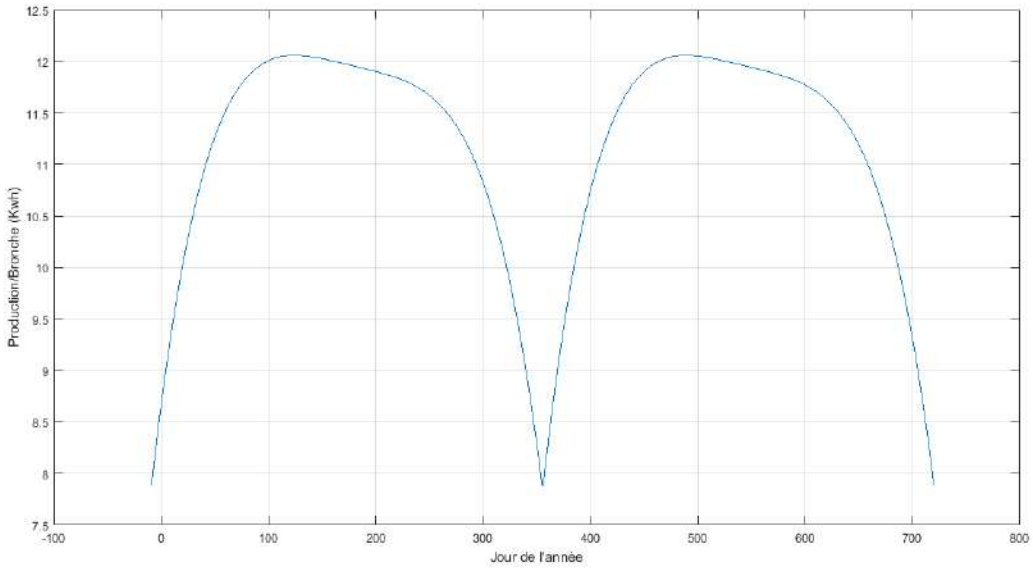


Fig 4.9 : Figure production énergétique journalier par bronche sur une période de 2 ans.

-le manque d'énergie dans les mauvis jours :

Dans les mouvais jours de l'année, on peut déterminés le manque d'énergie par l'équation suivent :

$$E_m = \sum_{j=1}^{365} s(\Delta E_J).\Delta E_J \tag{4.5}$$

Avec

$$S(x)=\begin{cases} 0 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \tag{4.6}$$

Et

$$\Delta E_j = E_{PJ} - E_{CJ} \tag{4.7}$$

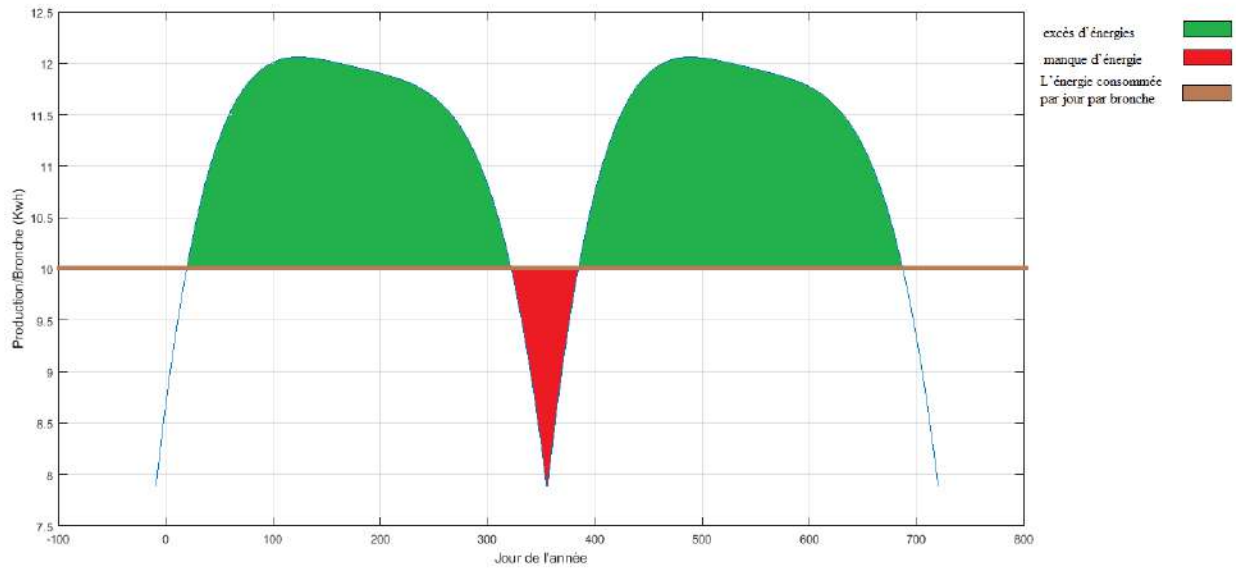


Fig4.10 : Le bilan énergétique sur une période de 2 ans.

Le nombre maximal des bronches parallèles des panneaux Nppmax compense le manque d'énergie dans le plus mauvais jour de l'année sans utiliser les excès d'énergies dans les bons jours (Em=0) donc :

$$E_{cj} = E_{pmb}.N_{ppmax} \tag{4.8}$$

$$N_{ppmax} = \frac{E_{cj}}{E_{pmb}} \tag{4.9}$$

Où

Epmb : l'énergie produit par banche dans le plus mauvais jour de l'année.

Dans le cas général le manque d'énergie dans les mouvais jour doit être compenses par l'excès d'énergie dans les bons jours, cette excès énergétique doit stockée dans les batteries.

Donc la capacité des batteries nécessaires $\boldsymbol{Q_{Res}}$.

$$Q_{Res} = \frac{E_m}{VDC} \tag{4.10}$$

Avec :

VDC (tension de Bus continuée)

Em : dépend le nombre Npp (nombre branche parallèle des panneaux)

La capacité globale de la batterie est donné par :

$$Q = \frac{Q_{min}+Q_{Res}}{0.6} \quad (4.11)$$

Avec :

Q_{min} : la capacité nécessaire pour la nuit.

0.6 : rapport de la capacité utilisable de la batterie.

$$Q_{min} = \frac{h_{max}.P_O}{\eta.vdc} \quad (4.12)$$

Avec

: $\boldsymbol{h_{max}}$:nombre maximale des heures de la nuit.

η : le rondement globale du system.

$\boldsymbol{P_O}$: puissance promenât.

$$N_{Pb} = \left[\frac{Q}{Q_e}\right] + 1 = \left[\frac{\frac{Q_{min}+Q_{Res}}{0.6}}{Q_e}\right] + 1 = \left[\frac{Q_{min}+Q_{Res}}{0.6*Q_e}\right] + 1 = \left[\frac{Q_{min}+\frac{E_m}{VDC}}{0.6*Q_e}\right] + 1 \quad (4.13)$$

$N_{pb:}$Nombre de bronche parallèle de la batterie.

Qe : capacité d'un élément batterie

4.4.1.La fonction du coût du système:

Le coût total du système est donné par la relation suivante :

$C_g = C + C_a$

C : coût batteries plus panneaux.

Ca : coût accessoire.

Le des batteries plus panneaux est donnée par :

$$C = N_{PP}.N_{SP}.C_{PV} + N_{Pb}.N_{Sb}.C_b \quad (4.14)$$

Pour :

$\boldsymbol{N_{sp}}$:Nombre panneaux sérié fixée par les paramètres des panneaux et la plage de fonctionnement de la hachure MPPT.

$\boldsymbol{N_{sb}}$: Nombre en série par bronche batterie il déponde de la tension du bus continue VDC.

$$N_{sb} = \left[\frac{VDC}{V_N}\right] + 1 \qquad (4.15)$$

Avec :

$\boldsymbol{V_N}$:Tensionnominale d'un élément batterie.

Pour minimisée le cout elle faut cherchée le minimum de la fonction de Coût qui déponde seulement$\boldsymbol{N_{pp}}$.

Donc de $\boldsymbol{N_{pp}}$ qui annule la dérivée de Coût para port a $\boldsymbol{N_{pp}}$.

$$\frac{dc}{dN_{pp}} = 0$$

Mais le Coût n'a pas une fonction analytique bien détermine Em calculée par une simulation du système, pour chercher la valeur de $\boldsymbol{N_{pp}}$ il faut utiliser des méthodes Numérique d'optimisation.

Pour notre système on a choisi les donné climatique du site « Beskra » publie par [74].

Et on a obtenu le résultat suivant:

VDC=500v,V_N=12v,Q_e=120Ah, plage fonction hacheur (200v_300v),P_o=30kw, le rondement globale du système η=1. Pp=37000da, Pb=15000da.

A Partire le programme menu dans « l'annexe » on a obtenu les résultats suivante :

$$N_{ps} = 5$$
$$N_{ppOpt} = 91$$
$$N_{Bs} = 42$$
$$N_{Bp} = 15$$
$$N_p = 455$$
$$N_B = 630$$
$$C_{min} = 26285000\ DZD$$

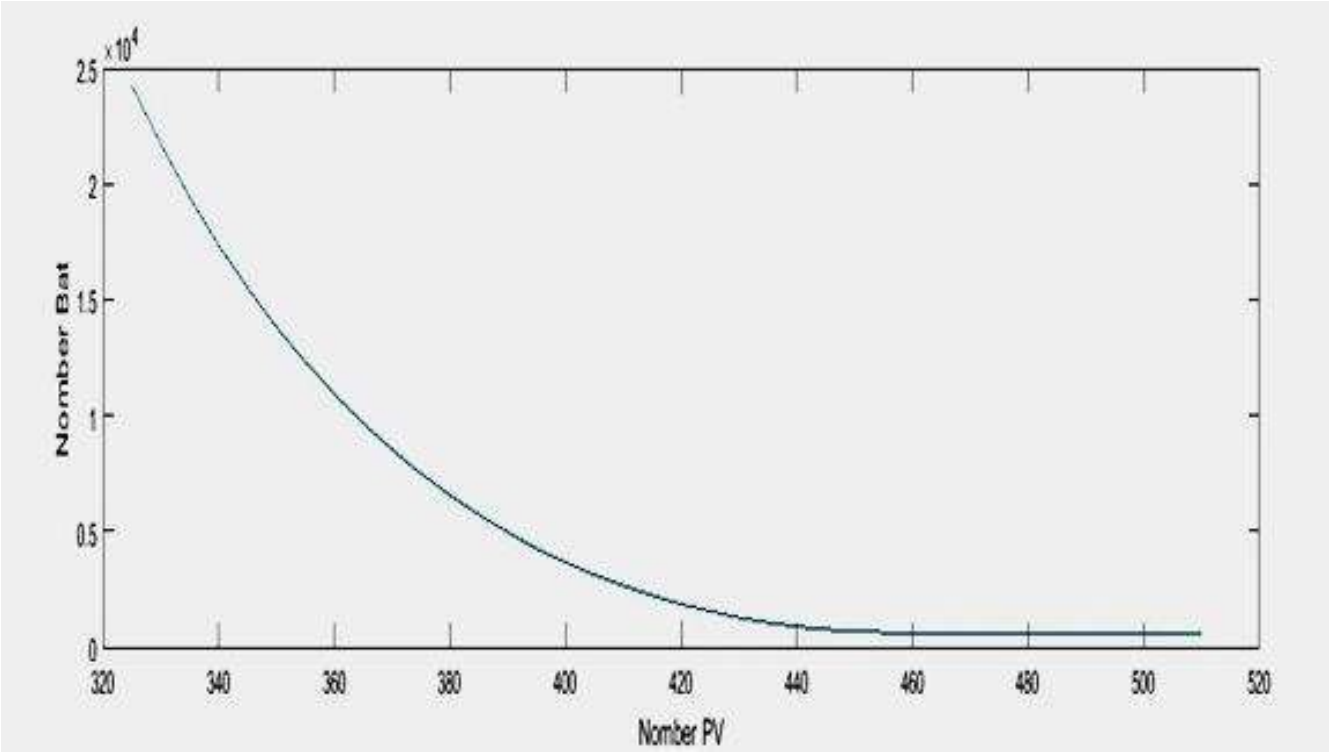


Fig 4.11 :nombre des batterie en fonction nbr pv.

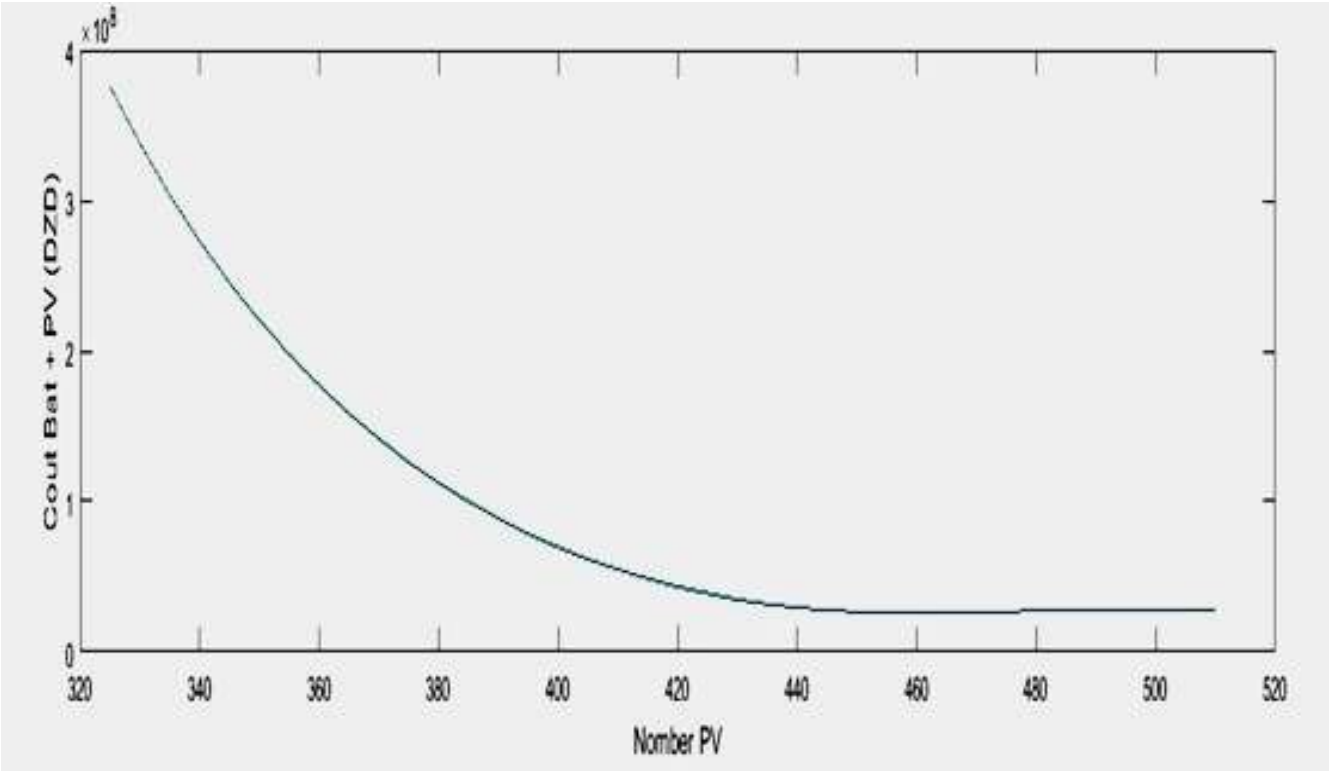


Fig 4.12 : comparaison entre le nombre des batteries et pv.

4.4.2. Interprétation des résultats :

En remarque que coût augmente avec le nombre des batteries et démunie avec l'augmentation de nombre PV est à un minimum autour 455 panneau.

Le coût du système augmente quasi quadratique avec le nombre des batteries car leur densité énergétique est faible (coût de stocker 1kWh est très élevé 17500 DZD/kWh).

4.5. Conclusion :

Dans ce chapitre on a proposé une architecture d'un système hybride PV/Batteries/Diesel pour améliorer la gestion et l'optimisation de SH.

On a aussi simulé ce système et on a obtenue des résultats satisfaite. Et on a établi un modèle du coût système en fonction de nombre des panneaux installés, puis on a utilisé des méthodes numériques minimisé le coût du système.

On a trouvez que la majorité du coût des systèmes photovoltaïques vient du système de stockage car il repose sur l'utilisation des batteries qui sont caractérisé par leur rendement faible, leur densité énergétique faible, et leur duré de vie court.

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons proposé un système hybride pour obtenir la puissance promise (30kw) qui injecte sur le réseau électrique et élimine les problèmes qui concernent la distribution d'électricité

Le premier chapitre a présenté les principes généraux de la production d'électricité à base d'énergie renouvelable (pv, eoliene ……) et Nous avons fait une explication du déférent système hybride.

Dans le 2ème chapitre nous avons apporté la généralité et l'explication sur l'effet photovoltaïque par des simulations sur des panneaux solaires à plusieurs conditions (rayonnement et température).

Dans le 3eme chapitre on a présenté des déférentes type de commande (P&O, Inc Cond, logique floue) qui basé sur les déférentes convertisseur statique (onduleur, hacheur)

Nous avons également présenté dans le 4ème chapitre notre système hybride et leur gestion et nous avons proposé une méthode d'optimisation pour le dimensionnement d'un système (PV / Batteries / groupe diesel), cette méthode nous a permis d'obtenir le dimensionnement des composants (PV, batterie , groupe) en intégrant une gestion optimisée et une configuration système optimale qui minimise les coûts d'installation. Cette méthode montrée que la technologie de stockage actuelle (batteries) est couteuse, et inefficace.

La procédure de modélisation pour le modèle de circuit a été présentée en utilisant l'environnement MATLAB/Simulink/Sim-power-system.

Il est aussi montré que dans la situation actuelle, la politique d'encouragement est nécessaire pour promouvoir l'énergie renouvelable solaire car l'investissement reste encore élevé et le prix d'électricité réglementé appliqué est bas. Cependant, avec l'évolution de la politique énergétique et la prévision du prix d'électricité du marché, la problématique devrait changer.

Bibliographie :

[1] B. Tounsi, ‘‘ Etude comparative de Groupes Electrogènes embarqués à large gamme de vitesse variable associant Mmachines à Aimants Permanents et conversion statique’’, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique Toulouze, 2007.

[2] [7] S. Benreguia,‘‘Techniques de production de l'électricité en Algérie : Dominance descombustibles fossiles’’,Portail Algérien des Energies Renouvelables, août 2012

[3] [8] B.S. Borowy and Z. M. Salameh, ‘‘Methodology for Optimally Sizing theCombination of a Battery Bank and PV Arrayin a Wind/PV Hybrid System’’, IEEETransactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996

[4] H.Yang, W.Zhou, L.Lu and Z.Fang, ‘‘Optimal Sizing Method for Stand Alone HybridSolar–Wind System with LPSP technology by using Genetic Algorithm ’’, Solar Energy 82, pp. 354-367, 2008.

[5] F. Brihmat, ‘‘L’étude Conceptuelle d’un Système de Conditionnement de puissance pour une Centrale de hybride PV/Eolien ’’, Mémoire de Magistère, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.

[6]O. Gergaud, ‘‘ Modélisation Energétique et Optimisation Economique d'un Système de Production Eolien et Photovoltaïque Couplé au Réseau et associé à un Accumulateur’’, Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, Décembre2002.

[9] F. Kendouli, K. Nabti, K. Abed and H. Benalla, ‘‘ Modélisation, Simulation etContrôle d’une Turbine Eolienne à Vitesse Variable basée sur la GénératriceAsynchrone à double alimentation ’’, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 14N°1, pp. 109-120, 2011.

[10] A. Mirecki, ‘‘ Etude comparative de Chaînes de Conversion d’Energie dédiées à une Eolienne de petite puissance’’, Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, Avril 2005.

[11] S. Haffen, ‘‘ Caractéristiques Géothermiques du Réservoir Gréseux du Buntsandstein d’Alsace’’, Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, Septembre 2012.

[12] La grenelle de la mer, ‘‘ Le Livre Bleu des engagements du Grenelle de la Mer’ ’Année 2009.

[13] T. Zhou, ‘‘ Commande et Supervision Energétique d’un Générateur Hybride Actif Eolien incluant du Stockage sous forme d’Hydrogène et des Super-Condensateurs pour l’Intégration dans le Système Electrique d’un Micro Réseau ’’, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2009.

[14] M. Elhassan, M. Fauzi, K. Sopian and A. A. Abass, ‘‘Design and Performance of Photovoltaic power System as a Renewable Energy Source for Residential in Khartoum’’, International Journal of the Physical Sciences Vol. 7(25), pp. 4036-4042, June 2012.

[15] A. Das and V. Balakrishnan, ‘‘Optimized Hybrid Renewable Energy System of Isolated Islands in Smart-Grid scenario-A Case Study in Indian Context ’’, World Academy of Science, Engineering and Technology 67, 2012.

[16] E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman, ‘‘Application of Using Hybrid Renewable Energy in Saudi Arabia ’’, ETASR - Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.

[17] D. Rekioua, Z. Roumila and T. Rekioua, ‘‘ Etude d’une centrale Hybride Photovoltaïque - Eolien – Diesel ’’ Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°4, pp. 623-633, 2008.

[18] R.Chedid and S.Rahman, ‘‘Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-Solar Power Systems’’, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, March 1997.

[19] W.D. Kellogg, M.H. Nehrir, G. Venkataramanan and V. Gerez, ‘‘Generation UnitSizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind PVSystems’’, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998.

[20] F. Baghdadi, ‘‘ Modélisation et Simulation des Performances d’une Installation Hybride de conversion d’Energies Renouvelables ’’, Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.

[21] N. Oleksiy, ‘‘ Simulation, Fabrication et Analyse de Cellules Photovoltaïques à Contacts Arrières Interdigités ’’, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.

[22] T. R. Mtshali, G. Coppez, S.Chowdhury and S.P. Chowdhury ‘‘Simulation andModelling of PV-Wind-Battery Hybrid Power System ’’, july 2011.

[23] Victron energy, ‘‘ Systèmes sites isolés Systèmes de secours ’’, Energie en tout temps en tout lieu.

[24] I. Vechiu, ‘‘ Modelisation et Analyse de l’Intégration de des Energies Renouvelables Dans un Réseau Autonome ’’, Thèse de Doctorat, Université de Havre, Année 2005.

[25] I.A. Adejumobi, S.G. Oyagbinrin, F. G. Akinboro and M.B. Olajide, ‘‘Hybrid Solar and Wind Power: an Essential for Information Communication TechnologyInfrastructure and People in Rural Communities ’’, IJRRAS 9 (1), October 2011.

[26] B. S. Borowy and Z. M. Salameh, ‘‘Optimum Photovoltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System ’’, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 9, No3, September 1994.

[27] T. Jacob andS. Arun, ‘‘ Modeling of Hybrid Wind and Photovoltaic Energy Systemusing a New Converter Topology ’’, Electrical and Electronics Engineering: AnInternational Journal (EEEIJ) Vol.1, No.2, August 2012.

[28] M. Mur alikrishnan and V. Lakshminarayana, ‘‘Hybrid (Solar and Wind) Energy System for Rural Electrification ’’, ARPN Journal of Engineering and AppliedSciences, Vol. 3, No. 5, October 2008.

[29] S. Rehman, Md. Mahbub Alam, J.P. Meyer and L. M. Al-Hadhrami, ‘‘Feasibilitystudy of a Wind-PV-Diesel Hybrid Power System for a village ’’RenewableEnergy38, pp.2582682012.

[30] M. S. Ngan and C. W. Tan, ‘‘Assessment of Economic Viability for PV / wind/ diesel Hybrid Energy System in Southern Peninsular Malaysia ’’, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, pp.634-647, 2012.

[31] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud and I.Youm, ‘‘ Modélisation d’unsystème de Stockage Intégré dans un système Hybride (PV / Eolien / Diesel) ’’, Revuedes Energies Renouvelables Vol. 10 N°2, pp.205-214, 2007.

[32] A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtiouen and S. Moussa, ‘‘ Optimisation d’un système Hybride (Eolien – Photovoltaïque) totalement autonome ’’,Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N.3, pp. 199-209, 2006.

[33] H. Ibrahim, ‘‘ Etude et Conception d'un Générateur Hybride d'Electricité de Type Eolien-Diesel avec Elément de Stockage d'Air Comprimé ’’, Thèse de Doctorat, Université de Québec, Juin 2010.

[34] I. Vechiu, ‘‘ Modelisation et Analyse de l’Intégration de des Energies Renouvelables Dans un Réseau Autonome ’’, Thèse de Doctorat, Université de Havre, Année 2005.

[35]E. Muljadi and H.E. McKenna, ‘‘Power Quality Issues in a Hybrid Power System’’, National Renewable Energy Laboratory, September 2001.

[36] A. Mokhtari, ‘‘ Diagnostic des Systèmes Hybrides : Développement d’une Méthode Associant la Détection par Classification et la Simulation Dynamique ’’, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Octobre 2007.

[37] B. Wickert, C.V. Nayar and W.B. Lawrance, ‘Photovoltaic-Diesel Hybrid Energy Système for Off-GridRural Electrification’, International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol. 1, N°1, pp. 7 - 17,

[38] S.M. Ait-Cheikh, "Etude, Investigation et conception d’algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques", Thèse de Doctorat, ENP, Alger, 2007.

[39]A. Aziz, "Propriétés électriques des composants électroniques minéraux et organiques, Conception et modélisation d’une chaîne photovoltaïque pour une meilleure exploitation de l’énergie solaire", Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III, 2006.

[40] Olivier Gergaud,’’ Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur’’, Docteur de l’École Normale Supérieure de Cachan, Décembre, 2002.

[41] A. Hoque, K. A. Wahid; « New mathematical model of a photovoltaic generator », Journal of Electrical Engineering, Vol. EE 28, N°. 1, June 2000.

[42] Mann Mk, “Economics of renewable hydrogen it’s about more than production”. Renewable hydrogen energy forum, Washington.

[43]V. Quasching, "Understanding renewable energy systems", Earthscan, pp. 115–157, 2005.

[45] Nathalie LEGRAND ‘’ Modèle multiphasique et méthodes d’analyse, non destructives, qualitatives et quantitatives de diverses sources de villissement d’accumulateurs’’, Thèse de doctorat de l’université de lorraine, département de formation doctorale, Génie des produits, procédés et des systèmes industriels, 2013.

[46] BOUTTE Aïssa, ‘’Identification des paramètres internes d’une batterie pour des applications photovoltaiques’’, Thèse de doctorat en sciences, Faculté de génie électrique, Université Mohamed Boudhiaf ORAN, 1 juillet 2015.

[47] Alain Ricaud, « Modules et systèmes photovoltaïques», Compresse. docSept 2008.

[48] V. Courtecuisse. «Supervision d’une centrale multisourcea base d’éolienne et de stockage d’énergie connectée au réseau électrique », mémoire de doctorat ; école doctorale n°432 ; France.

[49] I. Vechiu; « Modélisation et analyse de l’intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », Thèse de doctorat d’état, Université du Havre- décembre 2005.

[50] J. F. Manwell, A. Rogers, G. Hayman, C. T. Avelar and J. G. McGowan; « Hybrid2- A hybrid system simulation model. Theory manual », NREL Subcontract XL-11126-1-1, 1998.

[51] M. Pipattanasomporn; «A study of remote area internet access with embedded power generation», Etd- 12272004-1413 18, Virginia Polytechnic Institute, 2004.

[52] A. Khelif, "Développement d’un Outil d’Aide à la Décision pour l’Hybridation par le Photovoltaïque des Micro-Centrales Diesel du Sud de l’Algérie", Mémoire de Magister, USTHB Alger, 2008.

[53] L. Protin, S. Astier, "Convertisseurs photovoltaïques", Techniqu d’Ingénieur,Electrique, 1997.

[54] Hannes Knopf. Analysis, simulation, and evaluation of maximum power point tracking (MPPT) methods for a solar powered vehicle. Master of Science in Electrical and Computer Engineering. Portland State University 1999.

[55] A. Rufer, P. Barrade, "Cours d'électronique de puissance : Conversion DC/DC", Laboratoire d’électronique industrielle, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, Octobre 2001.

[56]G. Walker and P. Sernia, "Cascaded DC/DC converter connection of photovoltaic modules", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19, pp. 1130–1139, 2004.

[57] B. Wichert; «PV-diesel hybrid energy systems for remote area power generation — A review of current practice and future developments », Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1997, vol. 1, No. 3, pp. 209—228, Elsevier Science 1997.

[58] A. Talha, D. Beriber and M.S. Boucherit, "Performances of photovoltaic generator multilevel Cascade", International Conference and Exhibition on Green Energy & Sustainability for Arid Regions & Mediterranean Countries (ICEGES 2009), Amman, Jordan, November, 10-12, 2009.

[59] V. Quasching, "Understanding renewable energy systems", Earthscan, pp. 115–157, 2005.

[60] Hannes Knopf. Analysis, simulation, and evaluation of maximum power point tracking (MPPT) methods for a solar powered vehicle. Master of Science in Electrical and Computer Engineering. Portland State University 1999.

[61] Phatiphat Thounthong, Conception d'une source hybride utilisant une pile à combustible et des supercondensateurs -Thèse Doctorat en génie électrique, 2005-L'Institut National Polytechnique de Lorraine.

[62] 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.

[63] O.Ulleberg, " Stand-Alone power systems for the future: Optimal design, operation & control of solar-hydrogen energy systems", NTNU, Trondheim, Norvège, p 210,1998.

[64] B. Wichert, "PV-diesel hybrid energy systems for remote area power generation – A review of current practice and future developments", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1997, vol. 1, No. 3, pp. 209–228, Elsevier Science 1997.

[65] S.A. Khajehoddin, P. Jain and A. Bakhshai, "Cascaded Multilevel Converters and Their Applications in Photovoltaic Systems", 2nd Canadian Solar Buildings Conference, Calgary, June 10 - 14, 2007.

[66] J. Youngseok, S. Junghun, Y. Gwonjong and C. Jaeho, 'Improved Perturbation and Observation Method (IP&O) of MPPT Control for Photovoltaic Power Systems', The 31st Photovoltaic Specialists Conference,Lake Buena Vista, Florida, pp. 1788 – 1791, 3-7 Januar2005.

[67] Nesmat Abu-Tabak, "Dynamic Stability of multimachine electrical Systems", doctoral thesis, school doctoral France, electronics, automatic, Lyon, 2008.

[68] A. Mouldia, **A. Medjber,** A, Koizou, O, Bouchhida ,"DTC SVPWM of an energy storage flywheel associated with a wind turbine based on the DFIM'', III. European conference on enewable energy systems, KARMER, ANTALYA, Turkey, 07-10 October 2015 (NCENT2015), May 1-20 2015, M'sila, Algeria.

[69] J.L. Dalmasso, "Electronique de puissance commutation", Edition Belin, 1986.

[70]Medjber. A, A. Moualdia, A. Mellit, A, Guessoume, ‘’Commande vectorielle indirecte d’un générateur asynchrone double alimenté appliqué dans un système de conversion éolien’’, ACTA Electrotehnica,Vol 53, N4 2012,p : 316-322.

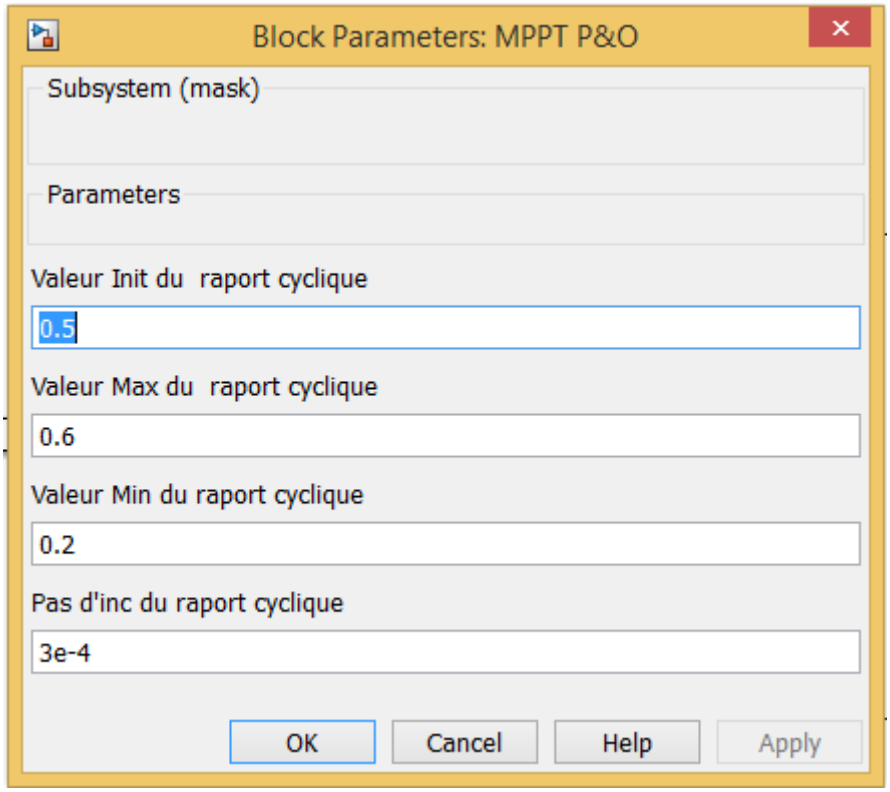
[71] E.M. Berkouk, "Contribution à la conduite des machines asynchrones monophasée et triphasée alimentées par des convertisseurs directs et indirects. Application aux gradateurs et onduleurs multiniveaux", Thèse de Doctorat, CNAM, Paris, France, 1995.

[72]D. Beriber, F. Bouchafaa, M. S. Boucherit, "Stability of input voltages of a three-level inverter NPC fed by photovoltaic sources", IVième Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement (CERE’2009), Monastir, Tunisia, 19 – 21 Mars, 2009.

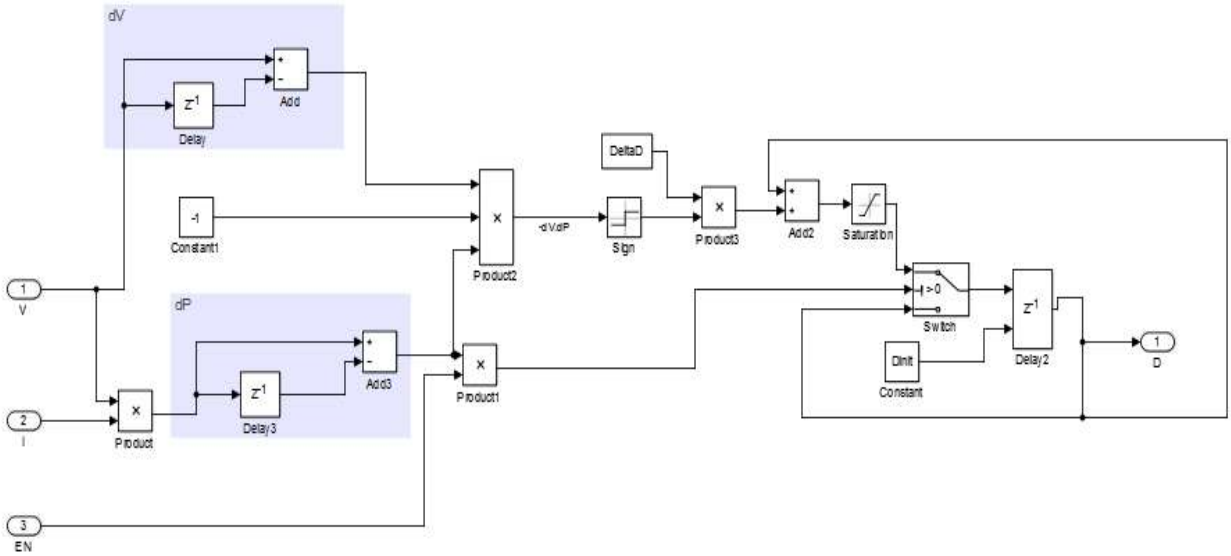
[78].Aleksey Trubitsyn, Brandon J. Pierquet, Alexander K, Garet E. Gamache, "High-Efficiency Inverter for Photovoltaic Applications", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 2803-2810, Sept. 2010.

[74]H. Haloui et C. khelif, ‘Modélisation de l’Irradiation Solaire sur un Plan Incliné sur Site par Ciel Clair’, Rapport d’Activités Scientifiques, URERMS.

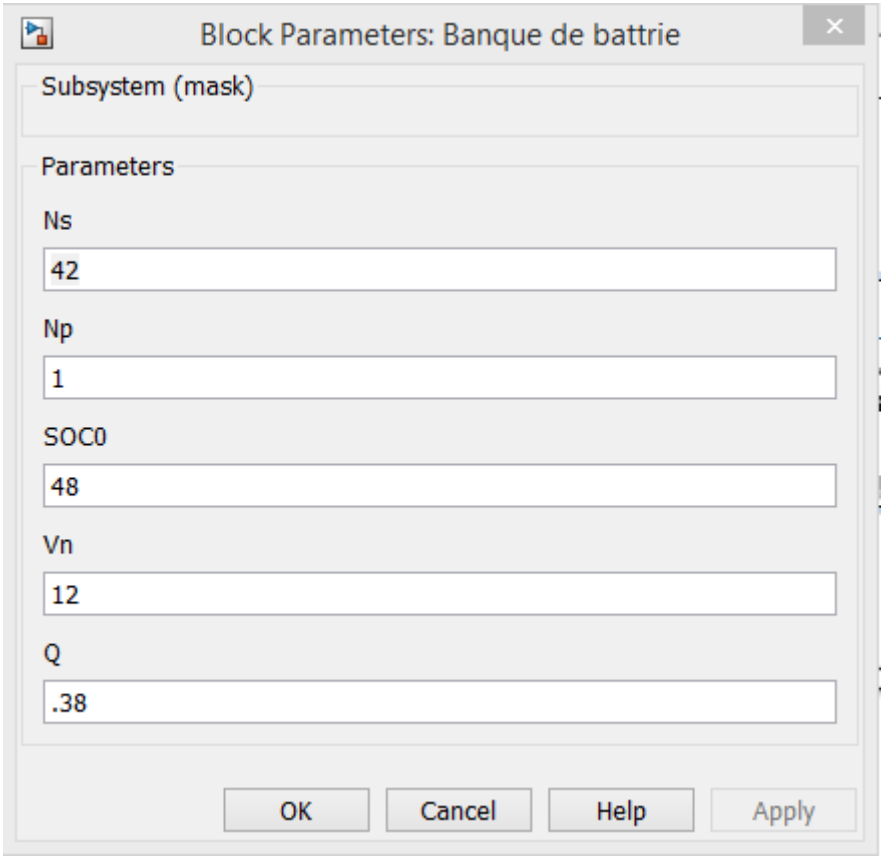
A.1. Les valeurs du hacheur boost



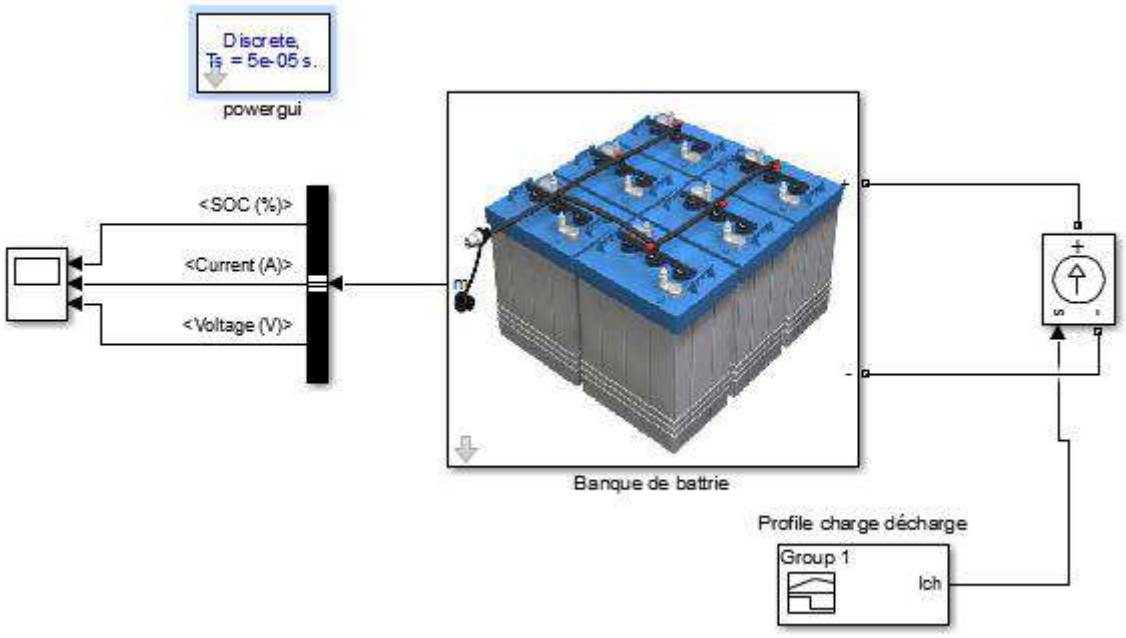
A.1.1. Commande MPPT p&o



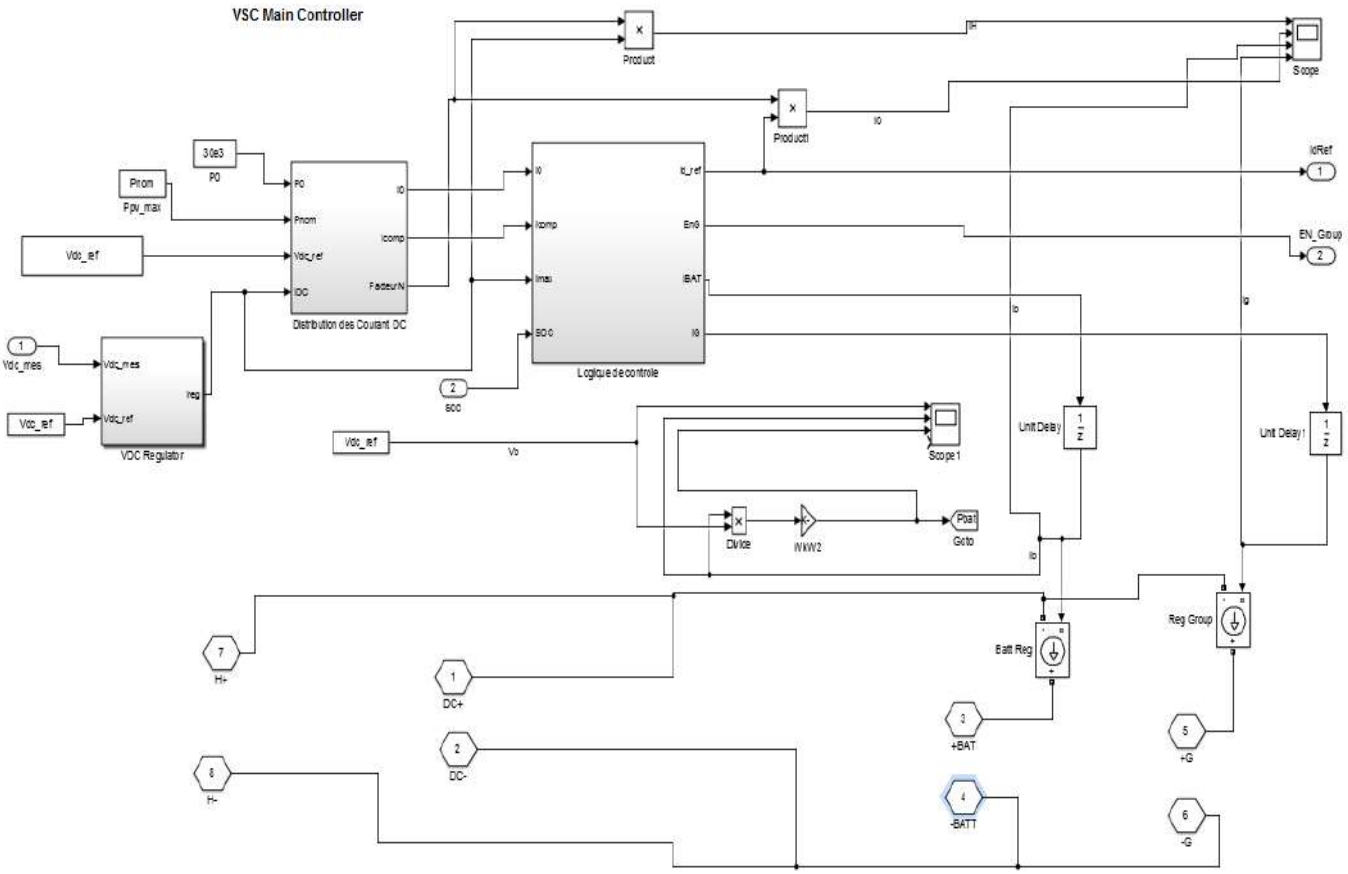
A.1.2 Paramètre Banque de batterie



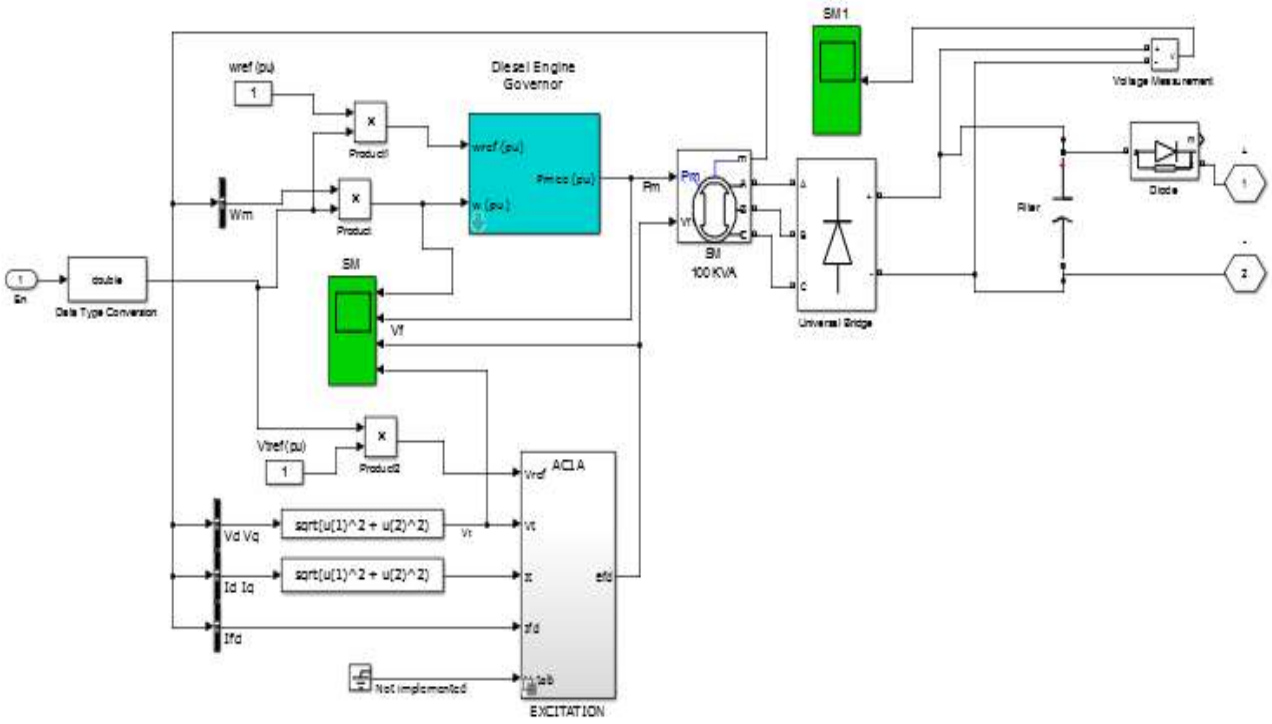
A2.1 Banque de batterie



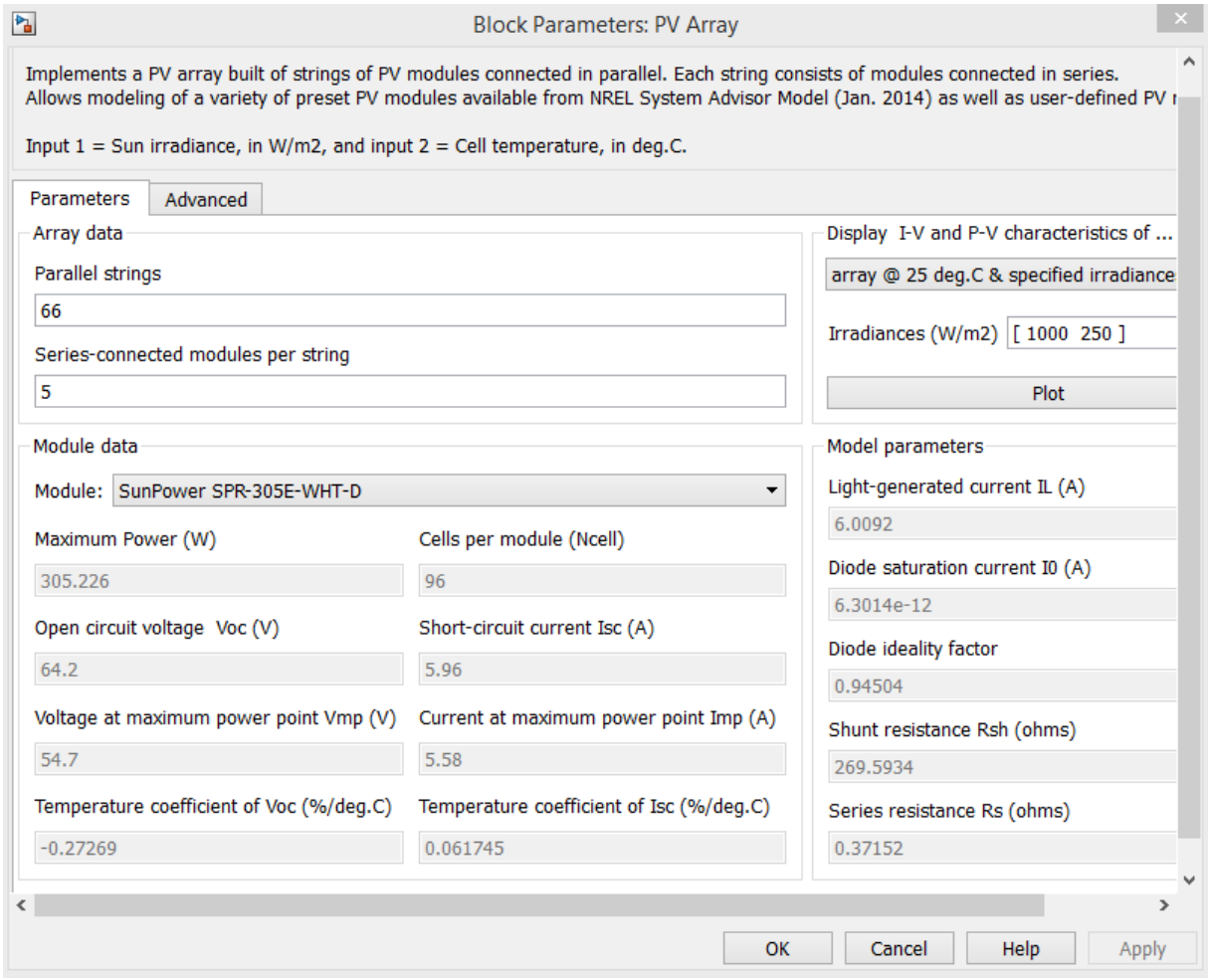
A.3.Controleur de gestion



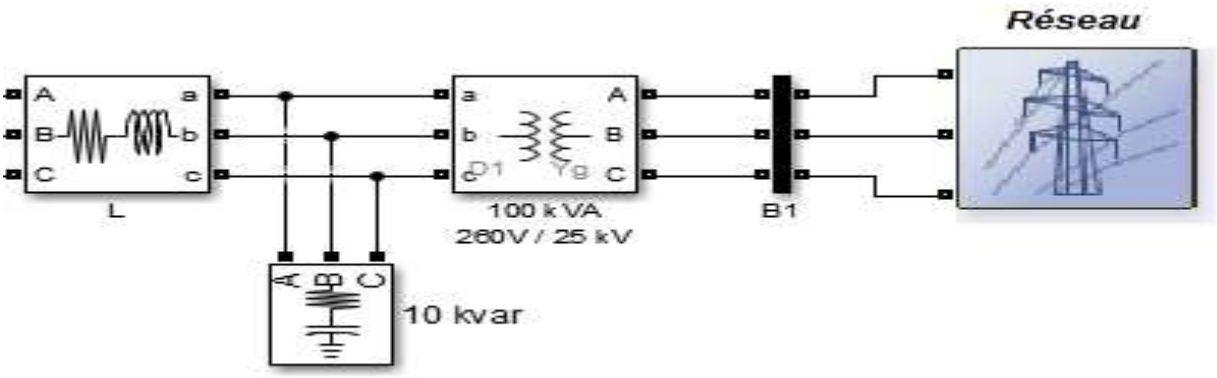
A.4.Groupe diésel



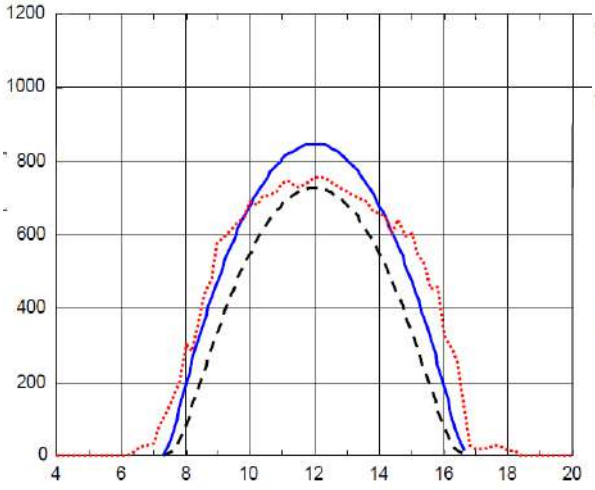
A.5.parameter de panneau photovoltaïque



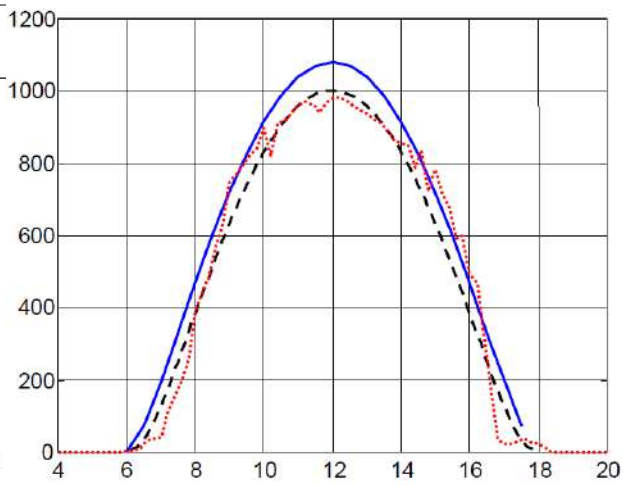
A.6 *Block diagramme du réseau électrique*..



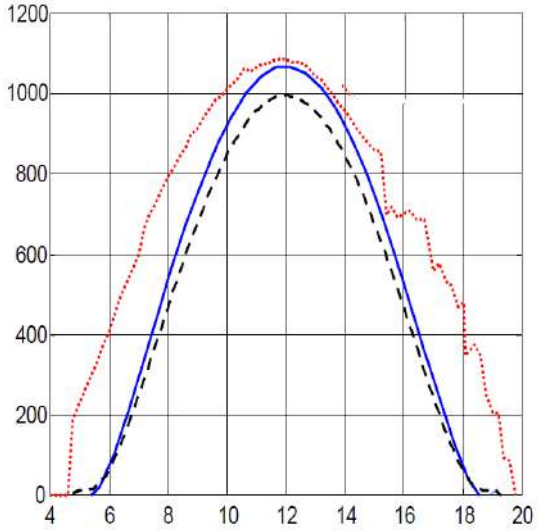
A.7.les irradiation solaire de 04 jouer déférent de l'Anne :



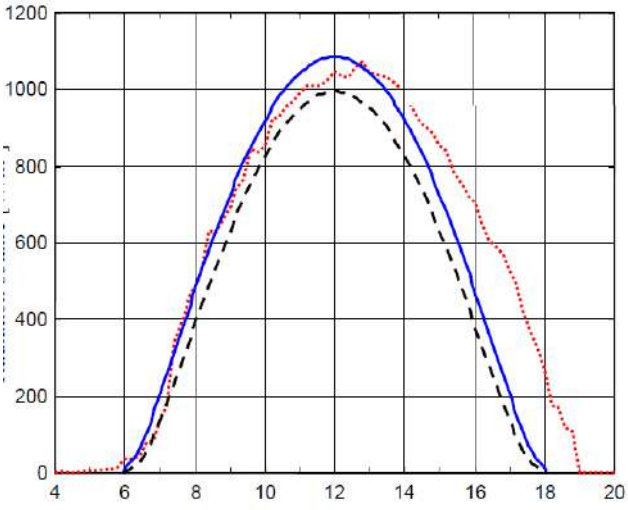
21dec2015



21mar2015



21jun2015



21sep2015