

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJIMOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2017

Faculté: Sciences de l'Ingénierat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé

Analyse et conception des systèmes hybrides
énergétiques

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : électronique

Spécialité: instrumentation et contrôle industrielle

Par :Garroudkarim

DEVANT Les JURYS

Président:M.guerssinoueldinUniversité Badji Mokhtar Annaba Directeur de

mémoire:M.benwarethUniversité Badji Mokhtar Annaba Examineur

:M.saadimedsahlahUniversité Badji Mokhtar Annaba

Examineur

:M.kherfanUniversité Badji Mokhtar Annaba

Sommaire

Chapitre 1

➤ La production éolienne

- Historique de l'éolienne
- Caractéristiques et types de turbines
- Conversion de l'énergie éolienne
- Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne
- principes de contrôle aérodynamique
- Intérêt de la vitesse variable
- Avantages de l'éolien

➤ La production solaire photovoltaïque

➤ Généralités

- Principe de fonctionnement
- puissance des modules PV
- Les différents types de systèmes PV
- Chaîne de conversion électrique
- Système à double comptage (Production et consommation non indépendante)
- Vente totale de la production (Production et consommation indépendante)
- **Système de stockage d'énergie des batteries**
- Conclusion

Chapiter 2

- Présentation du système hybride
- Les différentes configurations des systèmes hybrides
- Architecture à bus à CC
- Architecture mixte à bus à CC/CA
- **Modélisation du système hybride**
- **Modélisation du système photovoltaïque**
- **Convertisseur Buck-Boost**
- **Modélisation de l'unité d'éolien**

Chapitre 3

- Résultats
- Conclusion

Conclusion générale

[Tapez le
titre du
document]

[Sélectionnez la date]

[Tapez le résumé du document ici. Il s'agit généralement d'une courte synthèse du document. Tapez le résumé du document ici. Il s'agit généralement d'une courte synthèse du document.]

[Tapez le
sous-titre du
document]

chap 1

Systeme hybride

➤ **La production éolienne**

- **Historique de l'éolienne**
- **Caractéristiques et types de turbines**
- **Conversion de l'énergie éolienne**
- **Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne**
- **principes de contrôle aérodynamique**
- **Intérêt de la vitesse variable**
- **Avantages de l'éolien**

➤ **La production solaire photovoltaïque**

- **Généralités**
- **Principe de fonctionnement**
- **puissance des modules PV**
- **Les différents types de systèmes PV**
- **Chaîne de conversion électrique**
- **Système à double comptage (Production et consommation non indépendante)**
- **Vente totale de la production (Production et consommation indépendante)**
- **Système de stockage d'énergie des batteries**
- **Conclusion**

➤ **La production éolienne**

• **Historique de l'éolien**

Parmi toutes les énergies renouvelables, à part l'énergie du bois, c'est l'énergie du vent qui a été exploitée en premier par l'homme. Depuis l'antiquité, elle fut utilisée pour la propulsion des voiliers et ensuite les moulins à blé et les constructions permettant le pompage d'eau. Les premières utilisations connues de l'énergie éolienne remontent à 2 000 ans av. J.-C environ.

Dès le XIV^e siècle, les moulins à vent sont visibles partout en Europe et deviennent la principale source d'énergie. Seulement en Hollande et au Danemark, vers le milieu du XIX^{ème} siècle, le nombre des moulins est estimé respectivement à plus de 30000 et dans toute l'Europe à 200000. A l'arrivée de la machine à vapeur, les moulins à vent commencent leur disparition progressive.

L'arrivée de l'électricité donne l'idée à Poul La Cour en 1891 d'associer à une turbine éolienne une génératrice. Ainsi, l'énergie en provenance du vent a pût être « redécouverte » et de nouveau utilisée (dans les années 1940 au Danemark 1300 éoliennes).

Au début du siècle dernier, les aérogénérateurs ont fait une apparition massive (6 millions de pièces fabriquées) aux Etats-Unis où ils étaient le seul moyen d'obtenir de l'énergie électrique dans les campagnes isolées. Dans les années 60, fonctionnait dans le monde environ 1 million d'aérogénérateurs. La crise pétrolière de 1973 a relancé de nouveau la recherche et les réalisations éoliennes dans le monde.

• **Caractéristiques et types de turbines**

Puissance récupérable par une turbine

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

$$P_t = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^3$$

ou

$\rho = 1,3 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, la masse volumique de l'air (sa densité);

A : est la surface frontale de la turbine éolienne, en [m²];

V_w : la vitesse du vent au niveau de la turbine supposée connue;

C_p : est le coefficient aérodynamique de puissance, un paramètre sans dimension qui exprime

l'efficacité du rotor éolien dans la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Ce coefficient est fonction de l'angle de calage et de la vitesse spécifique (réduite) λ qui représente le rapport de la vitesse linéaire périphérique (en bout de pales) de la turbine ramenée à la vitesse du vent, définie par:

$$\lambda = \frac{R_t \cdot \omega_m}{V_w}, \text{ Où } \omega_m \text{ est la vitesse angulaire de rotation de la turbine.}$$

C_p a une valeur théorique maximale donnée par la limite de Betz [19] : C_{p max} = 0,593

Loi de Betz

La turbine éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. A partir de l'énergie cinétique des particules de la masse d'air en mouvement passant par la section de la surface active A de la voilure, la puissance de la masse d'air qui traverse la surface équivalente à la surface active A de l'éolienne est donnée par :

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^3$$

Selon la loi de Betz, cette puissance ne pourra jamais être extraite dans sa totalité . La puissance maximale pouvant être recueillie par une éolienne est égale à la limite de Betz :

$$P_M = \frac{16}{27} \cdot P_w = 0,59 \cdot P_w$$

Sous cette forme, la formule de Betz montre que l'énergie maximale susceptible d'être recueillie par un aérogénérateur ne peut dépasser en aucun cas 59 % de l'énergie cinétique de la masse d'air qui le traverse par seconde. De cette façon le coefficient de puissance maximal théorique est défini :

$$C_p^{opt} = \frac{P_M}{P_w} = \frac{2 \cdot P_M}{\rho \cdot A \cdot V_w^3} = 0,59$$

En réalité, jusqu'à présent, seulement 60 à 70 % de cette puissance maximale théorique peut être exploitée par les engins les plus perfectionnés. C'est ce rendement qui est appelé coefficient de puissance C_p de l'éolienne, propre à chaque voilure. Ce coefficient lie la puissance éolienne à la vitesse du vent :

$$C_p = \frac{2 \cdot P_t}{\rho \cdot A \cdot V_w^3}$$

• **Types de turbine**

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

Les turbines éoliennes à axe horizontal

Les turbines éoliennes à axe vertical



Fig 1 : Technologies d'éoliennes

Conversion de l'énergie éolienne

Dans cette partie nous allons nous intéresser aux dispositifs de conversion permettant de transformer l'énergie éolienne en énergie électrique. Dans un premier temps nous présenterons les caractéristiques et les différents types d'aérogénérateurs existants, puis nous analyserons les chaînes de conversion électrique associées à ces turbines.

Les composants de la chaîne électromécaniques de conversion sont donnés par la **figure(2)**;

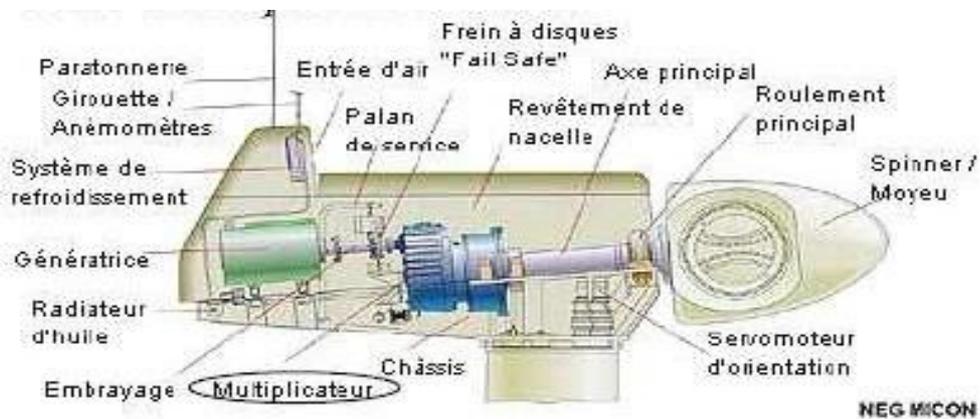


Fig 2 : Composants de la chaîne électromécanique (fiche technique : NM 750/48)

Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne

Une turbine éolienne est dimensionnée pour développer une puissance nominale P_n à partir d'une vitesse de vent nominale V_{w_n} . Pour des vitesses de vents supérieures à V_{w_n} , la turbine éolienne doit modifier ses paramètres aérodynamiques afin d'éviter les surcharges mécaniques (turbines, mat et structure), de sorte que la puissance récupérée par la turbine ne dépasse pas la puissance nominale pour laquelle l'éolienne a été conçue. Il y a d'autres grandeurs dimensionnantes: V_{w_D} la vitesse du vent à partir de laquelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie et V_{w_M} la vitesse maximale de vent au-delà de laquelle l'éolienne doit être stoppée pour des raisons de sûreté de fonctionnement.

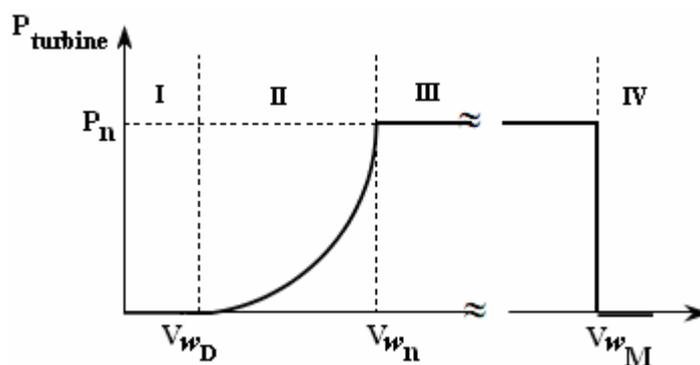


Fig 4: Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.

Ainsi la caractéristique de puissance en fonction de la vitesse du vent comporte quatre zones:

- La zone- I, où $P_{\text{turbine}} = 0$ (la turbine ne fournit pas de puissance) ;
- La zone- II, dans laquelle la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent V_w ;
- La zone- III, où généralement la vitesse de rotation est maintenue constante par un dispositif de régulation et où la puissance P_{turbine} fournie, reste sensiblement égale à P_n ;
- La zone- IV, dans laquelle le système de sûreté du fonctionnement arrête la rotation et le transfert de l'énergie

Principes de contrôle aérodynamique

La plupart des grandes turbines éoliennes utilisent deux principes de contrôle aérodynamique pour limiter la puissance extraite à la valeur de la puissance nominale de la génératri

Système « pitch » ou « à pas ou calage variable » qui permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent, principalement pour maintenir une puissance sensiblement constante dans la zone III de vitesses

- o Système « stall » ou à « décrochage aérodynamique », le plus robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance maximale n'est pas plate et chute plus vite. Il s'agit donc d'une solution passive et robuste (pas besoin de système d'orientation des pales). Chez certains fabricants de grandes machines, un système hybride se

Chapitre 1

développe, le « stall actif », dans lequel le décrochage aérodynamique est obtenu progressivement grâce à une orientation minime des pales nécessitant des moyens de réglage plus économiques et plus robustes que dans le système pitch.

D'autres systèmes de régulation, dans les petites éoliennes notamment, sont exploités :

- Basculement (relèvement) de l'axe, normalement horizontal ;
- Pas variable par la pression du vent (modèle Airwind : les pales en fibre, se déforment et provoquent un décrochage) ;
- Déviation par rapport à l'axe du vent. La dérive se trouve légèrement décalée par rapport à l'axe de rotation vertical (qui permet normalement à la turbine d'être face au vent) et crée une force de déviation qui régule la puissance aérodynamique (la turbine reçoit un vent de travers).

Avantages de l'éolien

- ◆ **Contribution à l'aménagement du territoire et l'amélioration du cadre de vie**
- ◆ **Création d'emplois**
- ◆ **Un soutien pour le monde agricole**
- ◆ **Une vitrine pour la commune**

Chapitre 1

Intérêt de la vitesse variable

Si on considère les courbes du coefficient de puissance fonction de λ , il apparaît clairement l'importance d'un réglage de vitesse. En effet, si la génératrice électrique est de type synchrone ou asynchrone directement couplée au réseau, la vitesse est sensiblement constante et le rendement aérodynamique ne peut être maximal que pour une seule vitesse de vent λ_{opt} . Un système à deux vitesses de rotation est possible mais la vitesse variable électronique apporte beaucoup plus en termes énergétique.

La **figure- (5)** montre que la position du maximum de la courbe puissance en fonction de la vitesse de rotation change avec la vitesse du vent. Typiquement, un réglage de vitesse dans une plage de 1 à 2 est nécessaire pour bien optimiser les transferts énergétiques. Nous verrons dans ce qui suit différents ensembles convertisseurs-machines utilisés ou utilisables dans la génération éolienne d'énergie.

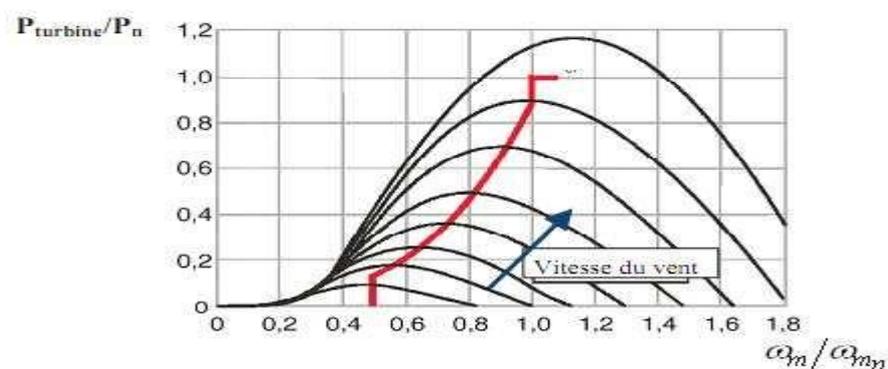


Fig 5: Puissance de la turbine en fonction de sa vitesse de rotation, paramétrée en vitesse du vent

Chapitre 1

La production solaire photovoltaïque

L'énergie solaire fait appel à la ressource la mieux partagée : le rayonnement solaire. L'énergie solaire peut être récupérée par deux procédés :

- Photovoltaïque pour la production d'électricité avec ou sans stockage ;
- Thermique pour la production de chaleur.

Notons que l'homme consomme, aujourd'hui, une énergie correspondant à $1/8000^{\text{ème}}$ de l'énergie solaire qui arrive à la surface de la terre.

Mais notre intérêt porte sur la première forme de conversion.

Généralités

L'héliélectricité, qui traite de la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium. Mais ce n'est qu'en 1954 avec la réalisation des premières cellules PV au sélénium dans les laboratoires de la compagnie Bell Telephone Laboratories, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie.

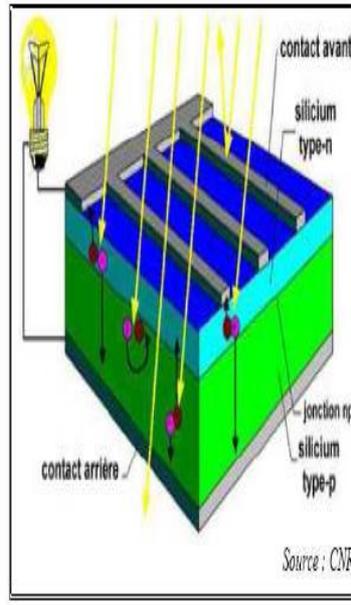
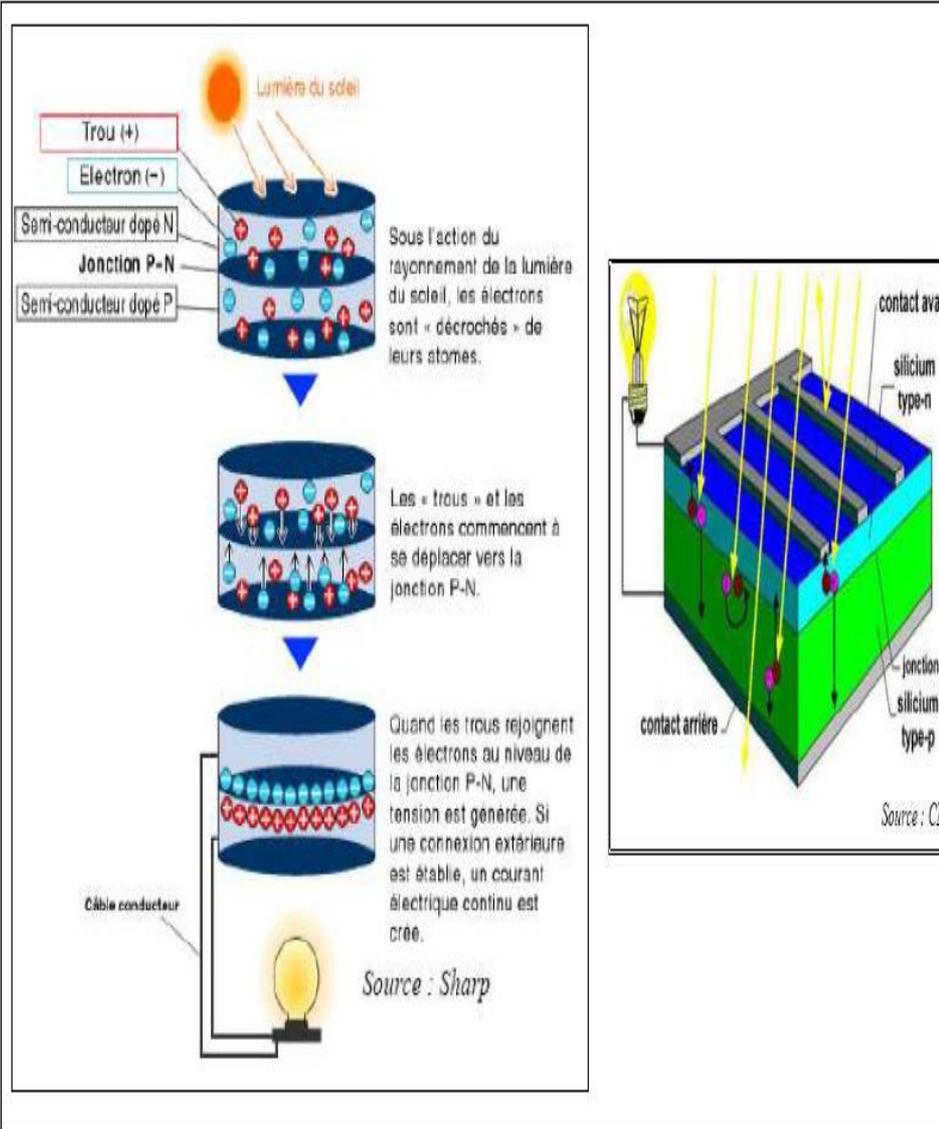
Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux, leur développement et de rapides progrès ont été motivés par la conquête de l'espace. Les premiers générateurs ont été utilisés en 1958 pour les satellites Vanguard. Au cours des années 1980, la technologie PV terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts. Les premières installations ont été conçues pour sites isolés, principalement dans les pays en voie de développement. Par la suite, la technologie est même devenue familière à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires.

Des événements tels que les courses de véhicules solaires offrant une image de haute technologie futuriste et écologique y ont également contribué .

Le mot « photovoltaïque » vient du grec « phôtos » signifiant lumière et de « Volta » du nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique. Mais c'est en 1839 que le français Antoine Edmond Becquerel fut le premier à mettre en évidence cette conversion particulière d'énergie.

Principe de fonctionnement

Le phénomène de conversion photovoltaïque est dû à la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière, selon le concept décrit ci-après ;



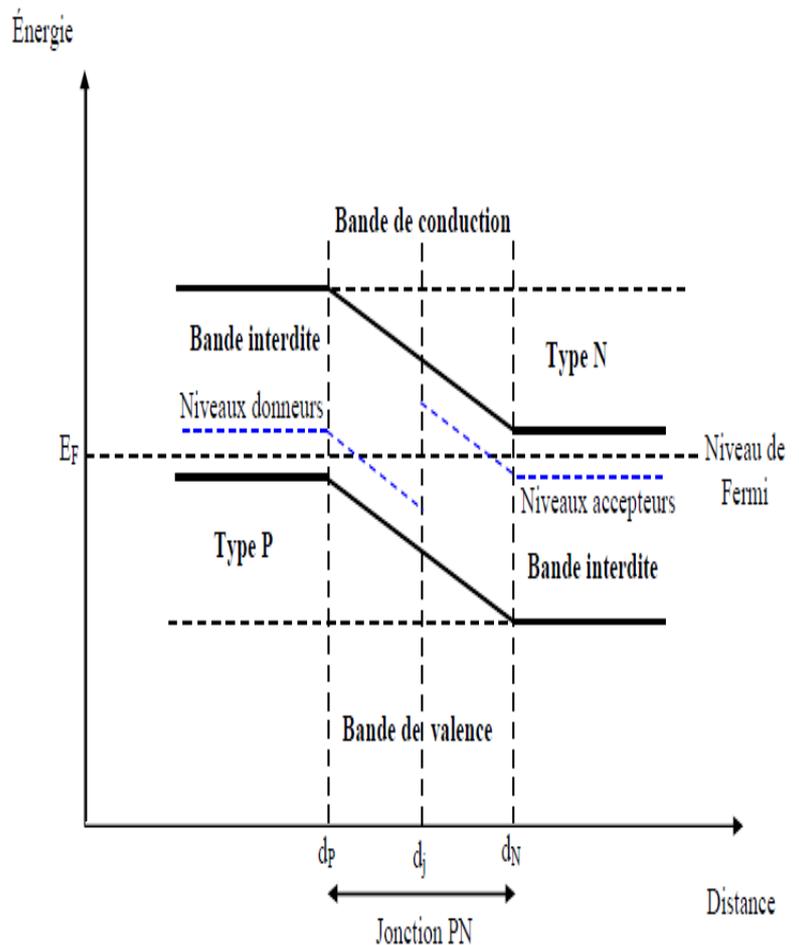
Chapitre 1

Donc toute particule minoritaire près de la jonction a une probabilité très forte pour la traverser et la jonction s'oppose uniquement au passage des porteurs majoritaires.

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons de valence ont tendance à être " arrachés / décrochés: si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.

La puissance des modules PV s'exprime en Watts-crête (Wc) ou en Watts-peak (Wp). Cette dernière représente la puissance que peut fournir un module lorsqu'il est fermé sur sa charge nominale (optimale), sous les conditions standards de fonctionnement.



Chapitre 1

Puissance des modules PV

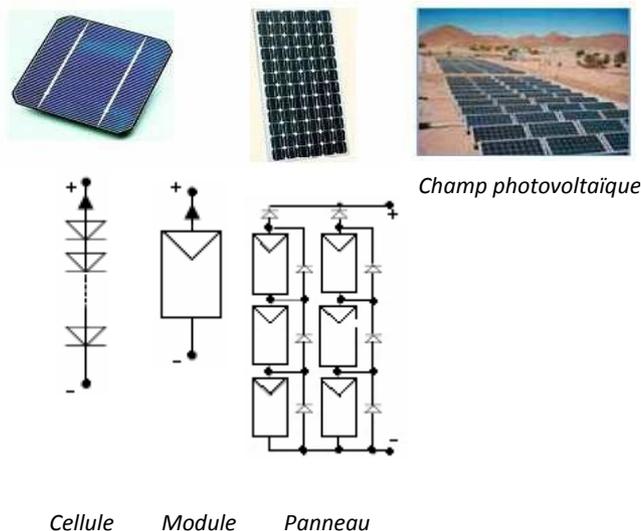
La puissance des modules PV s'exprime en Watts-crête (W_c) ou en Watts-peak (W_p). Cette dernière représente la puissance que peut fournir un module lorsqu'il est fermé sur sa charge nominale (optimale), sous les conditions standards de fonctionnement.

La puissance crête d'une photopile en silicium, de 10 [cm] de diamètre est $P_c \cong I[W]$.

Typiquement une cellule photovoltaïque produit moins de 2 [W] sous approximativement 0,5 [V]

Une association série de plusieurs cellules donne un *module* et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un *panneau photovoltaïque*.

Plusieurs panneaux qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés *champ photovoltaïque* ou *générateur photovoltaïque GPV*.



Ce n'est pas une pile, mais un convertisseur instantané qui ne pourra fournir une énergie sous forme électrique que s'il reçoit une énergie sous forme de rayonnement. Une cellule sous obscurité totale va se comporter comme un composant passif, fonctionne comme une diode plus exactement, et ne produit pas de courant.

La cellule solaire ne peut être assimilée à aucun autre générateur classique d'énergie électrique type continu. Elle n'est ni une source de tension constante ni une source de courant constant. Elle possède des caractéristiques électriques non linéaires dépendant des conditions météorologiques, à savoir éclairement et température.

La plupart des panneaux PV commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules tels qu'il est décrit plus haut. Le nombre de cellules par sous-réseaux est le fruit d'un compromis économique entre protection et pertes d'une partie importante du GPV en cas de défaut partiel. Leurs performances sont données dans des conditions normalisées STC (tests d'étanchéité, résistance mécanique, variations de température, ..., selon les normes IEC 61215 et IEC 61646) : un spectre AM1,5 sous un éclairement de $1000 [W/m^2]$ et une température de la cellule de $25 [^{\circ}C]$, à ne pas confondre avec les conditions nominales, qui sont un éclairement de $800 [W/m^2]$, une température ambiante de $20 [^{\circ}C]$ et une vitesse du vent égale à $1 [m/s]$.

Chapitre 1

Les modules les plus courants sont composés de 36 à 72 cellules ;

Un module de 12 [V] nominal est composé par la mise en série de 36 cellules cristallines. Ces cellules sont protégées par une enveloppe supérieure et inférieure.

Il existe différents types d'encapsulation :

- Verre / verre (ou bi-verre) ;
- Verre / matériau composite (tedlar/ milar).

L'ensemble cellule-encapsulant forme un laminât.

Le rajout d'un cadre métallique (aluminium) procure au laminât sa rigidité et permet sa fixation.

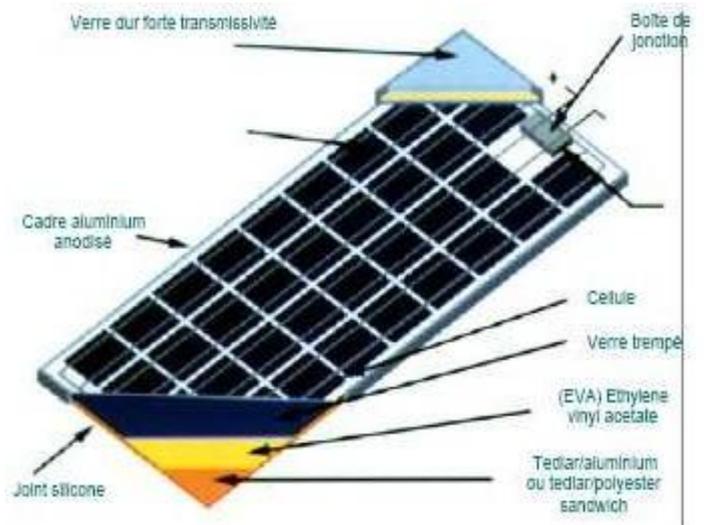


Fig 7: Eléments d'un module cristallin

Les caractéristiques de la simple cellule sont celles d'une photodiode, mais en convention générateur. Elles sont données par la figure suivante

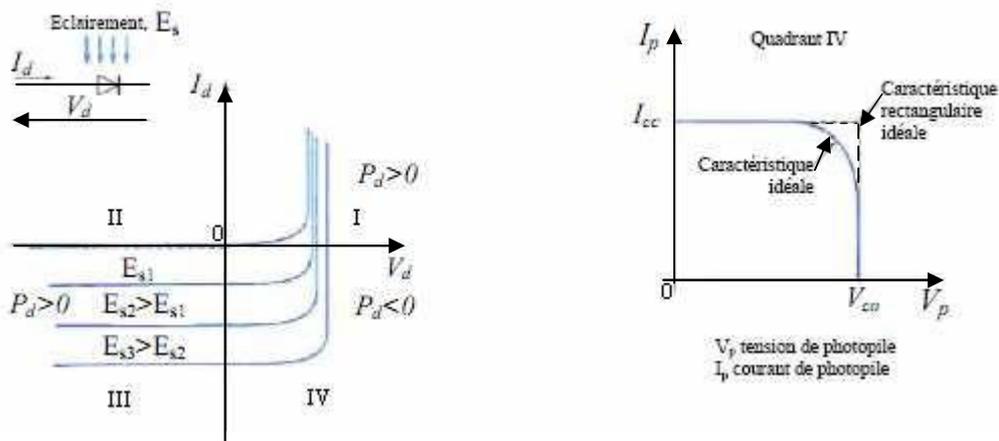


Fig 8 : A gauche, caractéristique d'une photodiode, à droite caractéristique d'une cellule photovoltaïque

Chapitre 1

Une cellule PV peut donc se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique.

Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série r_s et shunt r_{sh} , tel que le montre le schéma électrique équivalent de la **figure- (10)**. La résistance série est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière.

La résistance shunt est une conséquence de l'état de surface le long de la périphérie de la cellule elle est réduite à la suite de pénétration des impuretés métalliques dans la jonction (surtout si elle est profonde), lors du dépôt de la grille métallique ou des prises de contacts sur la face diffusée de la cellule

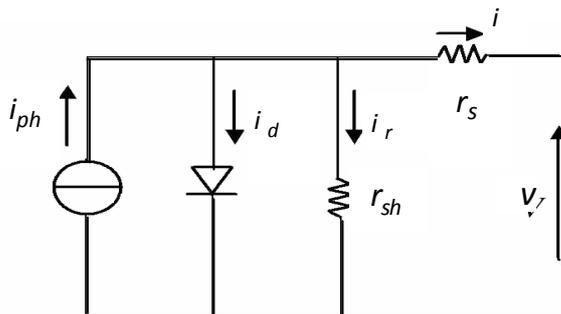


Fig 10: Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

Où :

r_{sh} : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction ;

et r_s la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions ;

i : le courant fourni par la cellule et v la tension à ses bornes ;

i_{ph} : le photocourant, i_d le courant parcourant la diode et i_r celui parcourant la résistance shunt.

Les différents types de systèmes PV

Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BoS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à savoir la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser ces modules, le câblage, la batterie en cas de stockage, son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif.

◆ Chaîne de conversion électrique

Dans le cas d'installations autonomes, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation, etc...) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230 Volts alternatif. C'est ce type de systèmes qui est retrouvé en sites isolés (systèmes insulaires, réseaux villageois) se faisant installer en association avec ressources conventionnelles, tels les générateurs diesel.

La chaîne de conversion d'une installation PV autonome est donnée par la **figure- (I.46)** ci-dessous :

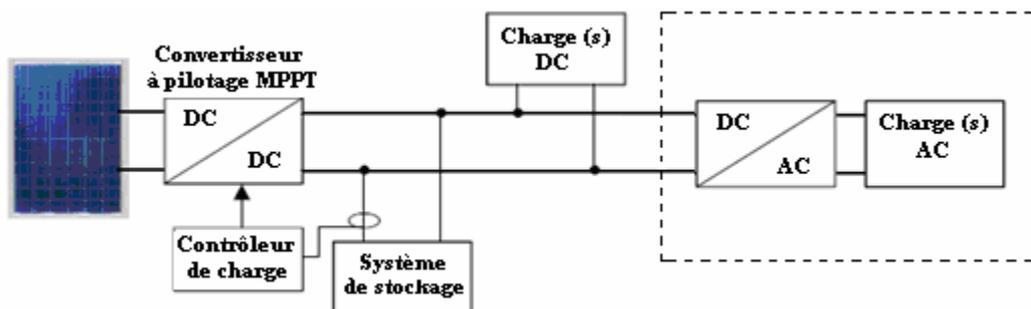


Fig 11: Installations PV autonome

Le producteur-consommateur isolé du réseau est tributaire des conditions météorologiques. Ainsi, si l'on a plusieurs jours successifs défavorables à la production d'électricité, le producteur consommateur risque également d'être privé d'électricité lorsque son dispositif de stockage sera complètement déchargé. Au contraire, si les conditions sont favorables à la production et que toute la capacité de stockage est totalement utilisée, il doit arrêter de produire et donc délester sa production.

Mais le système peut également être connecté au réseau. L'avantage du raccordement est de se dispenser du coûteux et problématique stockage de l'électricité. Dans ses versions les plus économiques l'onduleur ne peut fonctionner qu'en présence du réseau, une éventuelle panne de ce dernier rend inopérant le système de production d'origine renouvelable. Un onduleur réversible est nécessaire si on a une charge à courant continu. Si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs voisins.

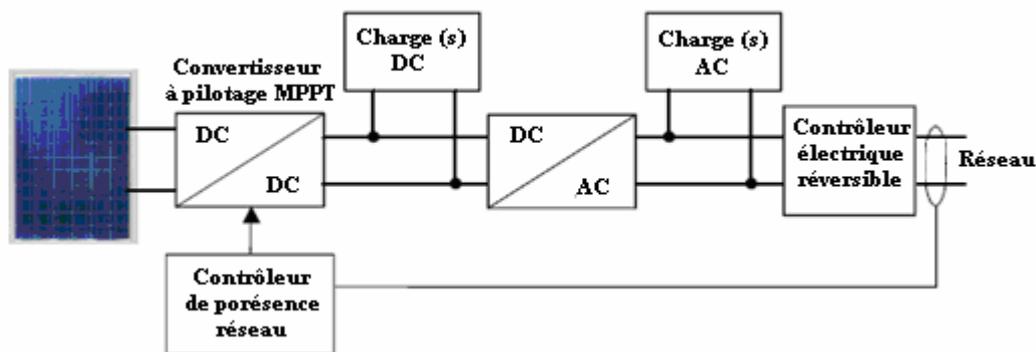


Fig 12 : *Installation photovoltaïque couplée au réseau (un aérogénérateur et son convertisseur pourraient remplacer ou compléter le générateur photovoltaïque)*

Le principal avantage des systèmes couplés au réseau est qu'ils permettent de revendre l'énergie produite et non consommée sur place au fournisseur du réseau. Par contre, ces systèmes ne peuvent fonctionner qu'en présence du réseau. Dans le cas d'une coupure de ce dernier, bien qu'ayant son propre système de production d'électricité, le producteur indépendant se trouve privé d'électricité.

On distingue alors deux types de structures :

- Les systèmes à connexion directe au réseau qui est constituée d'un GPV connecté au réseau électrique à l'aide d'un onduleur.
- Les systèmes à bus continu intermédiaire, où Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmoniques (THD). On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau [60, 61]. Il existe plusieurs architectures pour les dispositifs permettant de convertir la tension continue issue du générateur photovoltaïque en une tension sinusoïdale utilisable (230 [V]).

Cela est mis en œuvre via différents montages avec tous les avantages et inconvénients que représente chacun.

○ **Système à double comptage (Production et consommation non indépendante)**

Un système à double comptage (achat-vente) permet de revendre le courant produit en excédent, sur le réseau, et de consommer le courant disponible sur le réseau lorsque le soleil n'est pas là. L'ensemble est entièrement automatisé et géré par un onduleur.

Pour ce système, deux compteurs sont montés têtes bêtes. Le premier enregistre l'énergie rejetée sur le réseau (le surplus de la production qui n'a pas été directement consommé), le second enregistre la quantité d'énergie achetée au réseau.

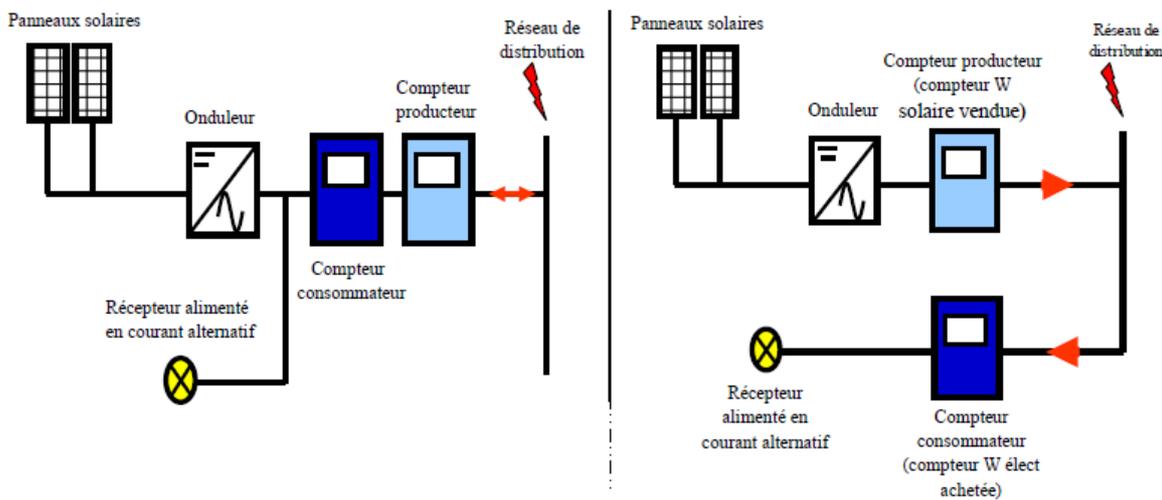
○ **Vente totale de la production (Production et consommation indépendante)**

Ce système permet de vendre l'intégralité de la production au réseau.

En plus du compteur habituel, on installe un compteur qui enregistre la quantité d'électricité rejetée sur le réseau, un autre branché coté générateur sert à éviter les fraudes.

Les deux schémas de principe sont donnés ci-après

Chapitre 1



a) *Injection des excédents de la production*

b) *Injection de la totalité de la production*

Les avantages d'une installation photovoltaïque

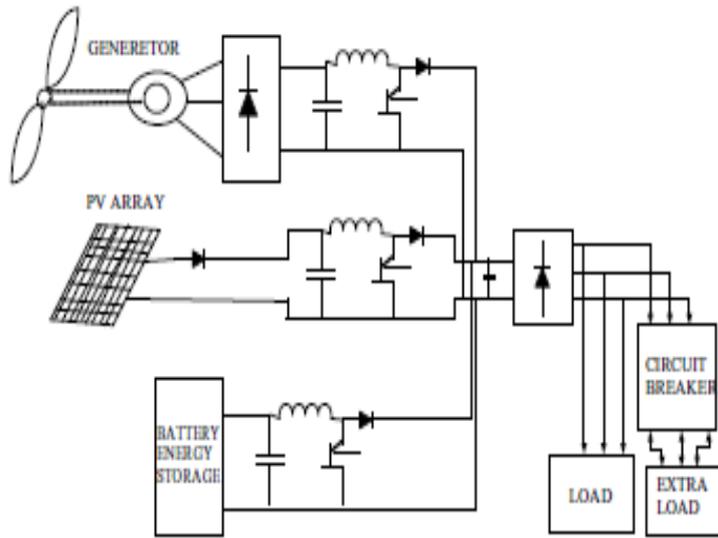
Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

- Ils sont de fonctionnement sûr, non polluants et silencieux ;

L'utilisation de l'énergie solaire permet d'éviter l'utilisation d'énergies fossiles ou nucléaires pour fabriquer la même quantité d'électricité et donc de diminuer d'autant les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires.

- Ils sont très fiables
- Ils n'exigent presque aucun entretien
- Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales
- Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité
- Ils donnent une autonomie accrue – fonctionnement indépendant du réseau ou système de secours pendant les pannes d'électricité
- Production d'électricité décentralisée

Systeme de stockage d'energie des batteries



Le système de stockage d'énergie de la batterie (BESS) comprend principalement des batteries, du contrôle et du système de conditionnement de puissance (C-PCS) et du reste de l'installation. Le reste de l'installation est conçue pour assurer une bonne protection des piles et du C-PCS. La batterie et les technologies C-PCS sont les principaux composants BESS et chacune de ces technologies se développe rapidement. Les batteries sont constituées de cellules empilées où l'énergie chimique est convertie en énergie électrique et vice versa. La tension de la batterie souhaitée ainsi que les niveaux de courant sont obtenus en connectant électriquement les cellules en série et en parallèle. Les batteries sont évaluées en fonction de leurs capacités d'énergie et de puissance. Pour la plupart des types de batteries, les capacités d'alimentation et d'énergie ne sont pas indépendantes et sont réparées pendant la conception de la batterie. Certaines des autres caractéristiques importantes d'une batterie sont l'efficacité, la durée de vie (indiquée en nombre de cycles), la température de fonctionnement, la profondeur de décharge (les piles ne sont généralement pas déchargées complètement et la profondeur de décharge se réfère à la mesure dans laquelle elles sont déchargées), Autodécharge (certaines batteries ne peuvent pas conserver leur capacité électrique lorsqu'elles sont stockées dans une étagère et une décharge automatique représente la vitesse de décharge) et la densité d'énergie. Actuellement, un développement important se passe dans la technologie de la batterie. Différents types de batteries sont en cours d'élaboration, dont certains sont disponibles dans le commerce alors que certains sont encore en phase expérimentale. Les batteries utilisées dans les applications du système d'alimentation électrique sont des batteries à cycle profond (semblables à celles utilisées dans les véhicules électriques) avec une capacité d'énergie allant de 17 à 40MWh et ayant des rendements d'environ 70 à 80%. Currently, significant development is going on in the battery technology. Different types of batteries are being developed of which some are available commercially while some are still in the experimental stage. The batteries used in power system applications so far are deep cycle batteries (similar to the ones used in Electric vehicles) with energy capacity ranging from 17 to 40MWh and having efficiencies of about 70–80%.

Conclusion :

Une brève description du SEH à étudier a été réalisée dans ce chapitre. Notre travail portant sur un SEH composé d'une éolienne, des panneaux photovoltaïques, d'un générateur diesel et batteries de stockage, une attention particulière a été consacrée à chacun d'eux.



**systeme
hybride**

Chap

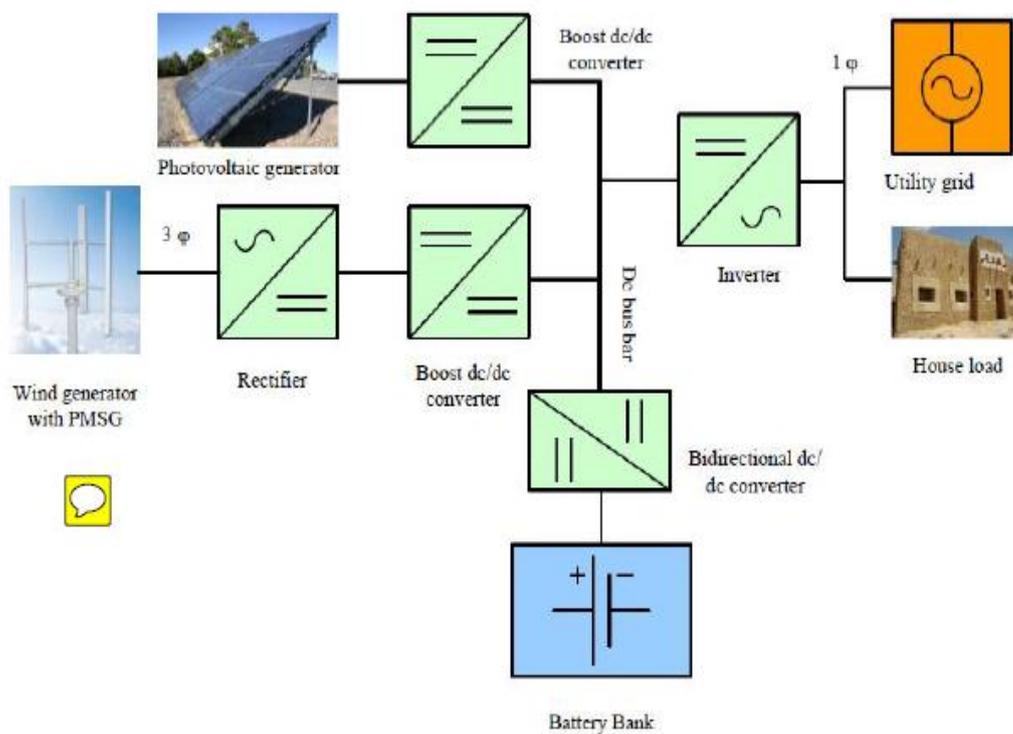
2

chap 2

Etude conceptuelle d'un système hybride

Présentation du système hybride

Le système hybride de production de l'énergie, dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Le système qui nous intéresse regroupe deux parties, à savoir l'éolienne, le photovoltaïque, Ces deux sources de production de l'énergie passent par un stockage de batterie



Les différentes configurations des systèmes hybrides

Deux configurations s'imposent :

Architecture à bus à CC, ayant les avantages et inconvénients suivants :

◆ **Avantages**

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

◆ **Désavantages**

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

Architecture mixte à bus à CC/CA, dont les atouts et les inconvénients sont énumérés comme suit ;

◆ **Avantages**

- Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Cependant, les deux sources peuvent fonctionner en parallèle pendant les pics de charge ;
- La possibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système à alimenter les pics de charge.

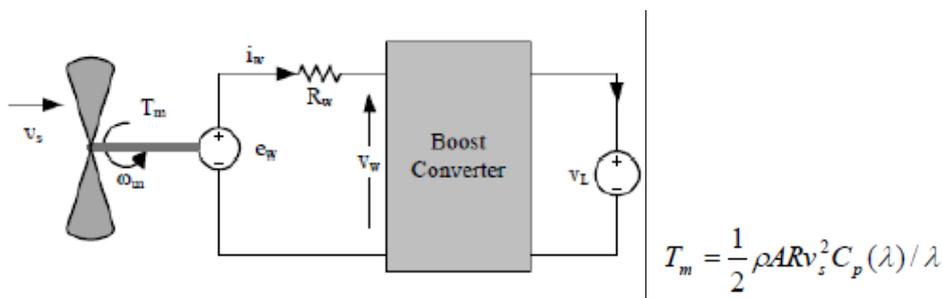
◆ **Désavantages**

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

Modélisation du système hybride PMSG et turbine éolienne

La dynamique du circuit électrique du générateur a peu d'effet sur la dynamique mécanique globale et peut être ignorée dans la conception du contrôle. Le circuit équivalent d'un générateur d'aimant permanent et du redresseur de diodes peut être simplifié comme le montre la Figure (3.1) vue du côté DC du redresseur. La résistance de la série Thévenin R_w a une valeur de deux fois la résistance par phase du générateur, négligeant le chevauchement de la commutation dans le redresseur lorsque le générateur de PM utilisé a une faible inductance. La source emf (e_w) est proportionnelle à la vitesse du générateur (ω_m).

$E_w = k\omega_m$ (1) où K_w est une constante selon la conception de la machine. La liaison cc du convertisseur de grille représenté comme une source de tension V_L . La puissance tirée par l'onduleur à partir de la liaison dc maintient la constante de tension; Avec un redresseur de diode passif, le niveau de puissance doit être réglé par la commande du cycle de service du convertisseur cc-dc. Le couple de la turbine est représenté par l'équation suivante.



Compte tenu de ce que (λ) a été proposé avant dans l'équation (2.2) (voir le chapitre (2)). Avec un angle de pas fixe,

Toute la région de fonctionnement de C_p peut être approchée dans la forme quadratique suivante en fonction de λ .

$$C_p = a_1 \lambda^2 a_2 \lambda + a_3$$

En négligeant l'amortissement et la friction, la dynamique mécanique peut être réduite à

Du les equation precedent

$$\frac{de_w}{dt} = -\frac{K_w}{J} i_w + b_1 v_s e_w + b_2 v_s^2 + b_3 \frac{v_s^2}{e_w}$$

Où $b_1 = K_t R a_1 / J$

$B_2 = K_t K_w a_2 / J$

$B_3 = K_t K_w 2 a_3 / (J R)$

$K_t = 0,5 r A R$

Sur le côté électrique, la relation entre la tension latérale CC du redresseur et la tension comme entrée du convertisseur côté grille peut être simplifiée comme suit:

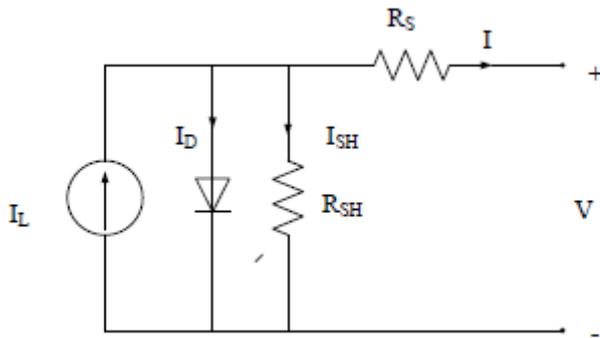
$$v_w = (1-d)v_L$$

Le courant latéral courant continu peut être calculé comme suit.

$$i_w = \frac{1}{R_{...}} [e_w - (1-d)v_L]$$

Modélisation du système photovoltaïque

Le circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque est donné dans la figure 3. Il s'agit d'un modèle à une diode qui est également connu sous le nom de circuit de 5 paramètres. La cellule peut également être modélisée par d'autres circuits équivalents; Tels que 7 paramètres, mais le modèle à une diode est le circuit le plus couramment utilisé dans la littérature et la solution du circuit n'est pas aussi compliquée que dans d'autres modèles. Les paramètres dans le circuit sont; I_D , I_L , I_{SH} , R_{SH} , R_S , I et V .



Après les circuit

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH}$$

L'IPH (courant généré à la photo) est également appelé IL (courant lumineux) qui se réfère au courant continu généré par l'effet photovoltaïque. Alors que I est le courant de sortie de la cellule. De l'équation de la diode de Shockley;

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{nV_t}\right) - 1 \right]$$

Where;

$$V_t = \frac{kT}{q}$$

Par la loi d'Ohm

$$I_{SH} = \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

Après avoir remplacé les équations (9), (10) et (11) en équation, l'équation prend la forme de;

$$I_D = I_{PH} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{AV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (12)$$

L'équation (12) est l'équation caractéristique générale des cellules solaires disponible dans la littérature [26]. De l'équation caractéristique, il est possible d'évaluer le courant cellulaire pour une température et une tension de cellule donnée. Cependant, la solution analytique de l'équation n'est pas possible et

les méthodes numériques seront utilisées pour résoudre l'équation. Les paramètres qui doivent être définis avant de résoudre l'équation (12) sont R_{SH} , R_S , A , I_{PH} et I_0 . Ces paramètres sont spécifiques à chaque tableau PV commercial différent et seront calculés à partir des valeurs de la fiche de données de produit testées aux Conditions de Test Standard (STC) ou au Point de Référence qui est l'irradiation solaire de $1kW / m^2$ et la température des cellules $25^{\circ}C$. Connaître ces paramètres, les données de rayonnement solaire et la température de la cellule nous permettront de calculer la production d'électricité de la cellule solaire. Les fiches techniques des matrices solaires fournies par les fabricants comprennent le courant de court-circuit (I_{sc}) et son coefficient de température (μI_{sc}), la tension de circuit ouvert (V_{oc}) et son coefficient de température (μV_{oc}), la tension (V_{mpp}) au point de puissance maximum (MPP) Et le courant (I_{mpp}) au MPP mesuré à STC. L'équation (12) est donnée pour une seule cellule. Pour un réseau photovoltaïque incluant un nombre de n_s de cellules connectées en série, l'équation caractéristique prend la forme [26];

$$I_D = I_{PH} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{n_s AV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

2. Convertisseur Buck-Boost

Un convertisseur Buck-Boost idéal est utilisé pour interagir avec le réseau photovoltaïque

Source de l'onduleur. Le contrôle PI est utilisé pour contrôler les

La valeur du cycle de service (D) dépend du calcul de la tension à

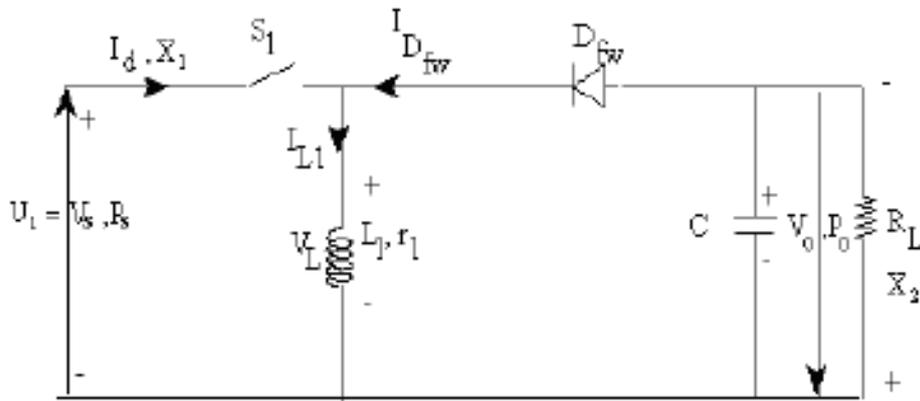
Point d'alimentation maximum. Avec l'hypothèse d'un circuit idéal

Éléments, deux modèles commutés sont représentés sur la Fig. 5. Etat

Les variables pour ce convertisseur Buck-Boost sont choisies comme inducteur

courant, $I_L \equiv X1$, et la tension de condensateur, $V_c \equiv X2$. State-spaceaveraged

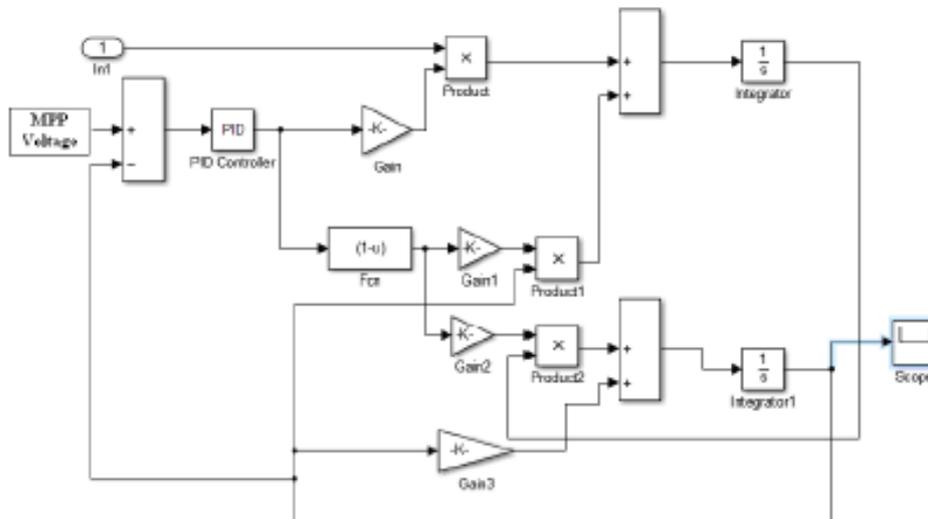
Les équations sous forme matricielle sont, [i]:



$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (1-D) \\ -\frac{(1-D)}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D \\ L \\ 0 \end{bmatrix} [U_1]$$

Modélisation de l'unité d'éolien

Les systèmes d'énergie éolienne convertissent l'énergie cinétique du vent en l'énergie électrique ou l'utiliser pour faire d'autres travaux, [vi]. La cinétique L'énergie de l'air de masse m qui se déplace à la vitesse v peut s'exprimer comme



$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

$$m = \rho Avt$$

La puissance du vent

$$P_w = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

La puissance spécifique ou la densité de puissance d'un site de vent est donnée comme

$$P_{\text{den}} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

Où, ρ : densité de l'air.

A: zone de balayage du rotor.

D: Distance (m).

M: masse d'air = densité d'air * volume
= $P * A * d$.

V: Distance / temps (m / s).

La puissance réelle extraite par les pales du rotor du vent est

La différence entre l'amont et l'aval

Puissances éoliennes, [vii]:

$$P_w = \frac{1}{2} * K_m (V^2 - V_0^2)$$

Où V est la vitesse du vent en amont à l'entrée du

Pales de rotor, V_0 est la vitesse du vent en aval à la sortie

Des pales du rotor. K_m est le débit massique, qui peut être

$$K_m = \rho A \frac{v + v_0}{2}$$

$$P = \frac{1}{2} [\rho A \frac{v + v_0}{2}] (v^2 - v_0^2)$$

Let

$$C_p = \frac{1}{2} (1 + \frac{v_0}{v}) [1 - (1 - \frac{v_0}{v})^2]$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

C_p s'appelle le coefficient de puissance du rotor ou du rotor
Efficacité.

$$P_m = .5 \rho A C_p (\lambda, \beta) v^3$$

λ : Le rapport de vitesse de pointe et β : angle de tangage.

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_r}$$

chap 3

Résultats et simulation de système

Le couple aérodynamique, T_{rtr} , générée par le rotor dépend non linéairement à la fois le pas des pales β , la vitesse du rotor, ω_{LS} , et la vitesse du vent efficace, V ; C'est :

$$T_{rtr} = T(\beta, \omega_{LS}, V) \quad (1)$$

Pour chaque vitesse du vent efficace, V , au-dessus de la vitesse nominale du vent, le couple aérodynamique nominale, T_o , et

la vitesse du rotor, ω_{Lso} , sont atteints à un angle d'inclinaison unique β_v . Ces angles pas en même temps que leur la vitesse du vent efficaces correspondantes définissent le lieu géométrique des points de fonctionnement à l'équilibre.

En cas de faible vitesse du vent, la puissance générée par une turbine éolienne est limitée par l'énergie disponible dans le

vent. A des vitesses de vent élevées, la puissance générée est limitée par la capacité du générateur. le frontière entre ces régimes de fonctionnement, en régime permanent, est la vitesse nominale du vent. C'est défini comme la vitesse du vent minimum d'équilibre à laquelle la turbine produit de l'électricité à la capacité de le groupe motopropulseur (ainsi, par la présente machine, la vitesse du vent minimum à laquelle la puissance développée

est de 1 MW). En dessous de cette vitesse du vent, l'angle de pas des pales de rotor est maintenu à zéro degré et le turbine est actionnée dans le but de maximiser la capture de l'énergie. Au-dessus de la vitesse du vent nominale, la hauteur angle des pales de rotor est ajusté à répandre l'excès d'énergie éolienne dans le but de maintenir l'énergie capturer au niveau nominal de 1 MW.

Au-dessus de la vitesse nominale du vent

Lors de l'utilisation au-dessus de la vitesse nominale du vent la non - linéarité aérodynamique est séparable dans le sens

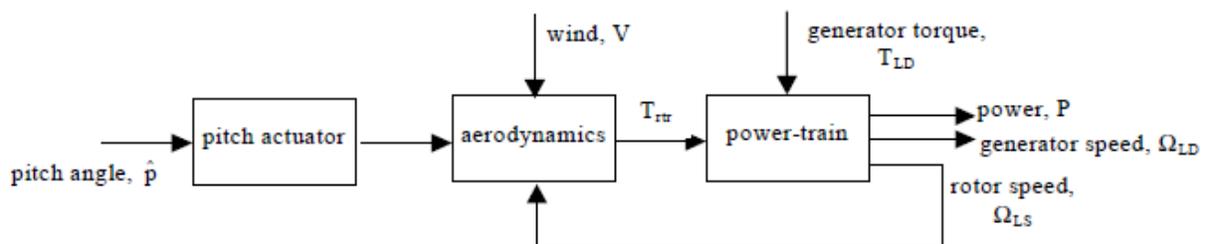
$$T_{rtr}(\beta, \omega_{LS}, V) = g(V) - h(\beta, \omega_{LS}) \quad (2)$$

$$T_{rtr}(\beta, \omega_{LS}, V) = K V^2 - K_p \beta \omega_{LS} \quad (3)$$

Vitesse du vent ci-dessous nominale

Pendant le fonctionnement en dessous de la vitesse du vent nominale, l'angle d'inclinaison est maintenu à zéro degré et donc la couple aérodynamique est donnée par $T(0, \omega_{LS}, V)$. Pour la machine considérée ici, on peut montrer que la dynamique sont relativement insensibles aux variations de la vitesse du rotor à des vitesses de vent nominales ci-dessous. Employant une approximation quadratique de la dépendance de la vitesse du vent conduit donc à la note ci-dessous modèle aérodynamique (décrochage négliger)

$$T(0, \omega_{LS}, V) = K V^2 \quad (4)$$



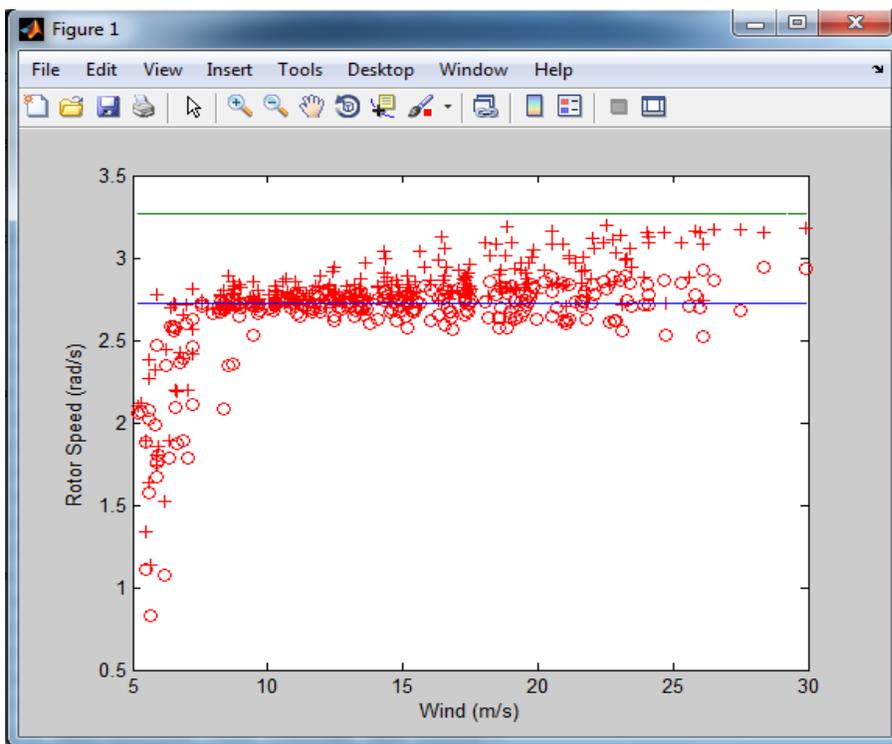
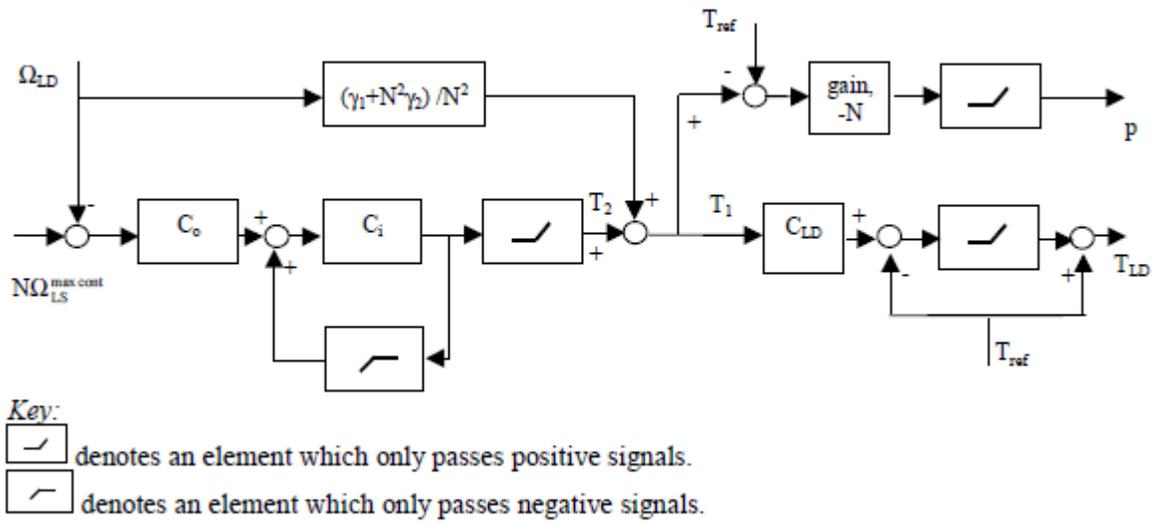


Figure 1

Parcelles de performance pour le contrôleur de base. Les mesures de capture d'énergie et les charges de fatigue

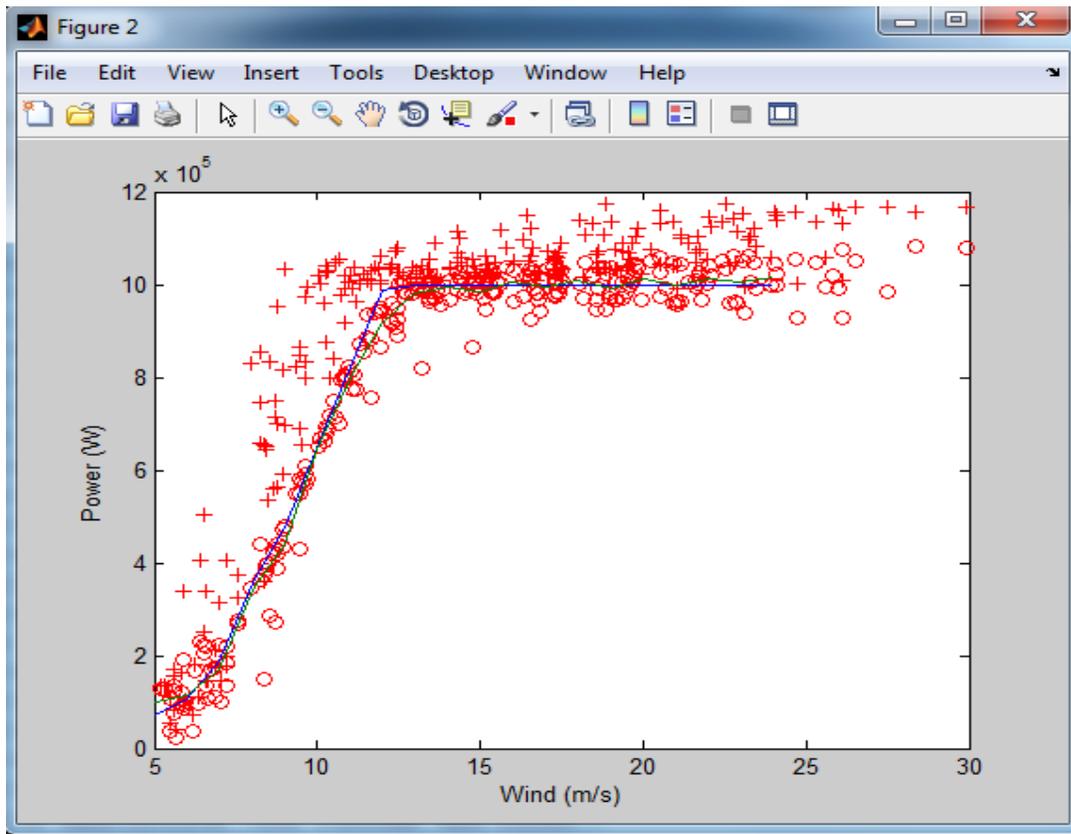


Figure 2

Parcelles de performance pour le contrôleur de base. Mesures de T_{LD} activité de contrôle.

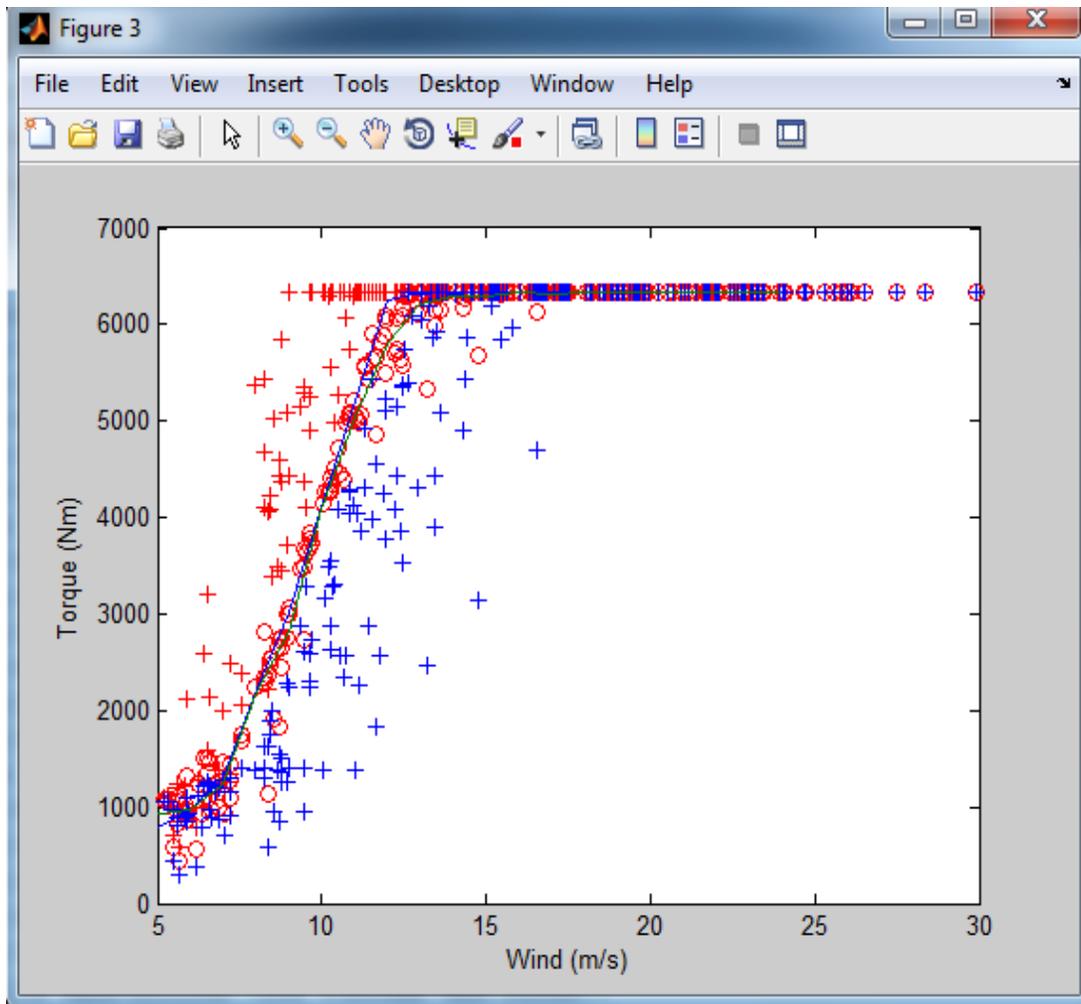


Figure 3

Parcelles de performance pour le contrôleur de base. Emplacement activité de l'actionneur.

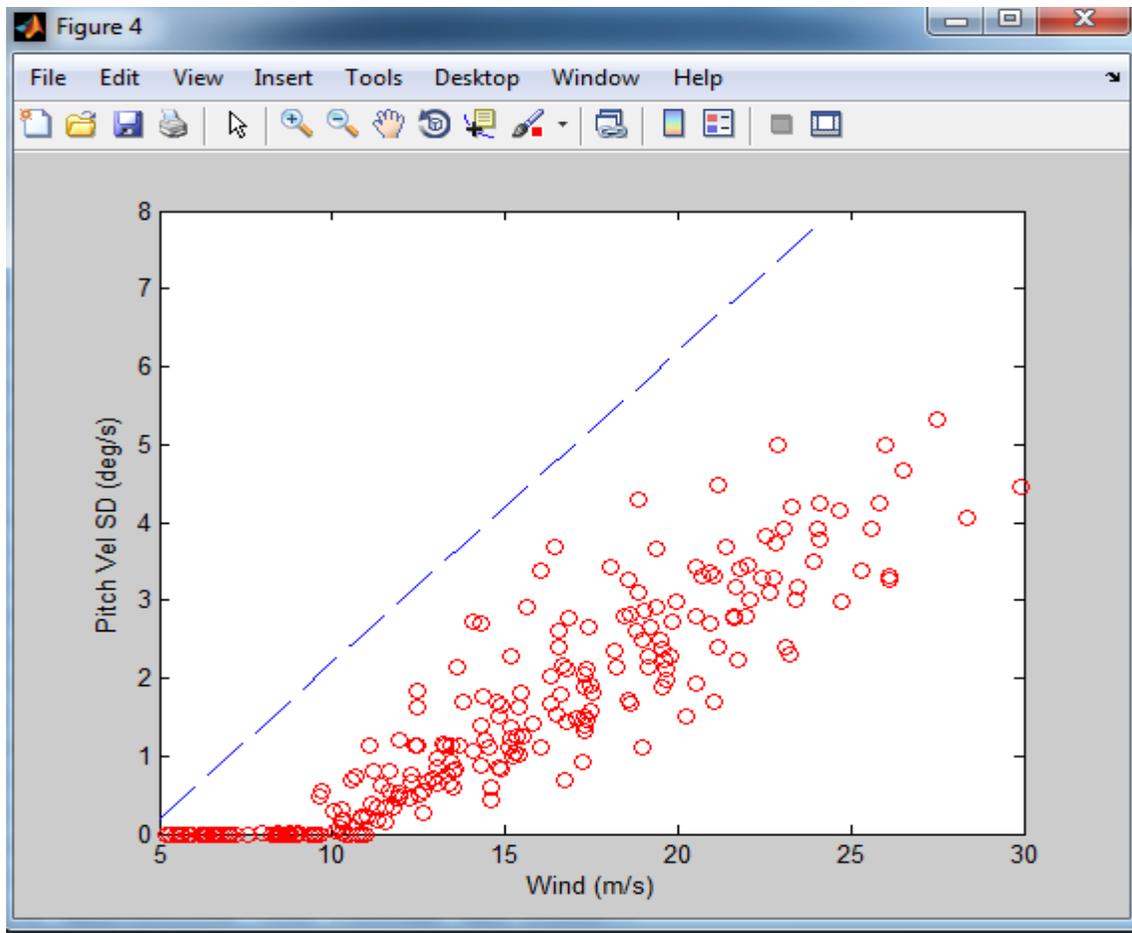


Figure 4

Parcelles de performance pour le contrôleur de base. La vitesse du rotor Ω et vitesse moyenne du rotor

Conclusion

La promotion de la production d'énergie à partir de ressources renouvelables Représente un objectif impératif dans les temps actuels justifié par Protection de l'environnement, augmentation de l'indépendance énergétique En fournissant la diversité des sources et, bien sûr, la Raisons de cohésion sociale. T sa modélisation du papier et de la simulation de PV hybride / vent isolé Système. Le système est simulé dans Matlab / Simulink.

Les performances individuelles du système vent et PV sont Étudié par simulation pour varier les vitesses du vent et l'énergie solaire Intensités respectivement. Le système est testé sous différents Conditions de différents niveaux d'insolation et de vent différent Vitesse avecchangement de valeur de charge. Le système hybride proposé Fonctionne bien dans différentes conditions de chargement. C'était une étude Harmonique de tension et de courant du système.

Conclusion géniale :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles des énergies renouvelables, celle de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque et de l'énergie éolienne en hybride.

Une meilleure rentabilité de ces systèmes à énergies renouvelables implique forcément un meilleur conditionnement, donc adaptation.

Il s'agit de procéder à une étude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/Eolien. L'objectif étant de garantir l'efficacité énergétique de la chaîne de production,