

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA
BADJI MOKHTAR –ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté :Sciences de l'Ingéniorat

Département : Électrotechnique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Électrotechnique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de LICENCE

Thème :

Technologies de production de l'électricité à partir les énergies renouvelables

Présentés Par:

- Chaabi Nadir
- Chefchoufi Marwa

Encadrant : KSENTINI Abdelhamid

Grade : MCB

Université : UBMA

Jury de Soutenance:

Pr : ABDERREZAK Abdallah

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENT

Grace à dieu, nous avons terminé ce modeste
Travail, qu'absolument à remercier
A tous ceux qui ont participé, aidé encourage à son
Élaboration de près ou de loin
Nos remerciement les plus vifs sont adressés au

DR :KSENTINI ABDELHAMID

Pour avoir accepté de diriger ce travail et qui par esprit
ouvert, sa disponibilité et ses conseils son précieuse,

A si nous faire partager son gout pour la recherche

Nous tenons également à exprimer notre jury le
professeur : **ABDALLAH ABDERREZAK**

Qui nous honorer par leur présence.

En fin, sans oublier de remercier tous ceux qui nous

Encouragé modeste travail.

Dédicaces

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce
modeste travail*

*à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je
n'arriverais*

jamais à leur exprimer mon amour sincère.

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma
vie, ma réussite*

et tout mon respect : mon cher père.

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui
n'a jamais dit*

*non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort
pour me rendre*

heureuse: mon adorable mère

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que

Dieu leur donne

une longue et joyeuse vie.

*A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai
connu jusqu'à*

maintenant.

Nadir

Dédicaces

Je dédie ce travail

*A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne,
son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :*

*Particulièrement à mon père feu pour le goût
à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur.*

*A toi mon grand-père ,ceci est ma profonde
gratitude pour ton éternel amour, que ce rapport soit
le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.*

*A vous
qui m'avez toujours soutenu et encouragé
durant ces années d'études.*

Marwa

Sommaire

Sommaire	I
Liste des Figures	III
Liste des abréviations	V
Introduction Générale	VI
❖ Problématique des sites isolés et solutions possibles	

Chapitre I : Généralités sur le système d'énergie hybride

I.1.Introduction.....	03
I.2.Systèmes autonomes et non autonomes de production d'énergie	06
I.2.1.Système non autonome	06
I.2.2.Système autonome	06
I.8.Conclusion	09

Chapitre II : modélisation du système d'énergie hybride

II.1.Introduction	10
II.2.Dimensionnement du système Hybride.....	10
II.2.1.Modélisation du système éolien	12
II.2.1.1.Modélisation du vent	13
II.3.Conclusion.....	15

Chapitre III : Généralités sur le système d'énergie hybride

III.1.Introduction.....	17
III.2.Simulation du vent et de la turbine	17
III.4.Conclusion	18

Sommaire

CONCLUSION GENERALE	19
BIBLIOGRAPHIQUES	21

Liste des figures

Figure I.1: Systèmes autonomes et non autonomes	6
Figure II.2: dimensionnement du systeme hybride	11
Figure II.3: modélisation du vente	14

Liste des abréviations

<p> ER : Energie Renouvelable SEH : Système d'Energie Hybride. SHED: Système Hybride Eolien-Diesel. CA : Courant Alternatif CC : Courant Continu GE: Groupe Electrogène. V_m : Vitesse du vent [m/s] MPPT : Maximum Power Point Tracking P(Ω) : La puissance de la turbine. p_{max}: Puissance maximale C_{pmax}: Coefficient de puissance maximale λ : Vitesse spécifique du vent. Ω_{opt} : Vitesse de rotation optimale MADA : machine asynchrone à double alimentation MS : machine synchrone. MAS : machine asynchrone. ω_{sync} : vitesse de synchronisme. SCIG : Générateur Asynchrone à Cage d'Ecureuil GD : Générateur Diesel </p>	<p>Chapitre I</p>
<p> P_m: Puissance mécanique en [W]. C_p : Coefficient de puissance (en fonction de λ). ρ: Densité de l'air, environ 1,3[kg/m³]. R : Rayon du rotor. β : angle de calage. C_{tur} : couple aérodynamique. P_{tur} : la puissance mécanique de la turbine éolienne S : Surface balayée en [m²]. C_{em}: Couple électromagnétique. C_{mec} : couple mécanique. J: Moment d'inertie de la partie tournante. J_{gen}: Inertie de la génératrice. J_{tur}: Inertie de la turbine. f: Coefficient de frottement visqueux G : Rapport du multiplicateur de vitesse. P : Nombre de pair de pôles Ψ_{ds} , Ψ_{qs} : Flux statorique d'axe (d, q) Ψ_{dr} , Ψ_{qr} : Flux rotorique d'axe (d, q) i_{ds} , i_{qs} : Courant statorique d'axe (d,q) i_{dr} , i_{qr} : Courant rotorique d'axe (d,q) u_{ds} : Tension statorique d'axe d. u_{qs} : Tension statorique d'axe q. u_{dr} Tension rotorique d'axe q. u_{qr}: Tension rotorique d'axe q. R_s: Résistance d'une phase statoriques. R_r : Résistance d'une phase rotoriques. L_s, L_r: Inductance propre d'une phase statorique, rotorique C_r: Couple résistant. </p>	<p>Chapitre II</p>

<p> u_{as}, u_{bs}, u_{cs} : Tensions d'alimentation du statoriques. i_{as}, i_{bs}, i_{cs} : Courant statorique. MD : moteur Diesel. V_{ref} : Tension de référence. V_s : Tension du réseau. Ω_{ref} : Vitesse de rotation de référence. Ω : Vitesse de rotation du rotor synchrone. Φ : Débit du carburant. SOC : La valeur maximale de l'état de charge. DOD : la profondeur de la charge </p>	Chapitre II
//////	Chapitre III



**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction Générale

De nos jours, la production mondiale d'énergie est réalisée à 74 % à partir de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz), à 20 % par les énergies renouvelables (hydraulique, biomasse, solaire, éolien) et à 6 % par le nucléaire [1]. De nombreuses études sur l'appauvrissement des ressources fossiles convergent vers le résultat suivant : la quantité d'énergie fossile disponible diminuera à l'horizon 2010-2020 et sera épuisée avant la fin de ce siècle. Notre avenir énergétique doit se baser sur les énergies nucléaires et renouvelables. La production nucléaire actuelle montre des performances de densité de puissance très importantes et des avantages environnementaux par rapport à l'émission de CO₂. Cependant, cette énergie présente de nombreux inconvénients : le retraitement difficile des déchets et des bâtiments, son impact sur l'environnement, les problèmes de sécurité et le fait que son combustible ne soit pas renouvelable (épuiement évalué à la fin du siècle pour l'uranium 235). Malgré des recherches très importantes menées afin de résoudre les problèmes des déchets et de développer de nouvelles générations de surgénérateurs dont la réserve en combustible est plus importante, le niveau moyen de sécurité ainsi que les conséquences humaines et écologiques d'un accident nucléaire restent les inconvénients majeurs de cette technologie. Bien qu'il soit difficilement concevable d'éliminer cette solution énergétique, il est préférable de la limiter à son plus bas niveau de nécessité. Cet objectif pourrait être atteint en combinant 3 axes majeurs : - un changement notable des mentalités par rapport à l'utilisation de l'énergie, tant au niveau des industriels que des particuliers, - la standardisation de produits à basse consommation énergétique via une implication des gouvernements, - et enfin, le développement des énergies renouvelables. Les ressources renouvelables sont variées et inépuisables. Leur conversion en énergie thermique, chimique ou électrique présente peu de dangers humains et écologiques. De plus, la production peut être centralisée ou décentralisée. En revanche, elle se caractérise par un rendement relativement faible, un coût important et une intermittence de la ressource. Des systèmes utilisant l'énergie solaire, éolienne, hydraulique ainsi que la biomasse fonctionnent dans de nombreuses régions du monde. Ils deviennent de plus en plus efficaces et rentables. Mais l'utilisation des ressources renouvelables,

en dehors des grands hydrauliques, reste généralement limitée aux sites isolés où le coût des systèmes renouvelables devient compétitif par rapport aux autres moyens de production d'électricité du fait de l'acheminement très coûteux de l'électricité

Chapitre I Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides

I. 1.Introduction

la combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique, L'avantage d'un système hybride par rapport à un système pur éolien ou pur photovoltaïque, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux : la forme et le type de la charge, le régime du vent, le rayonnement solaire, le coût et la disponibilité de l'énergie, le coût relatif de la machine éolienne, le champ photovoltaïque, le système de stockage électrochimique et autres facteurs d'efficacité. Les systèmes photovoltaïques sont actuellement économiques pour les installations de faibles puissances Pour les systèmes d'énergie autonomes le coût du stockage représente la plus grande contrainte du coût global du système pour les installations de grandes puissances. Minimiser le coût du stockage et optimiser sa capacité est la raison essentielle de la combinaison des systèmes éolien et photovoltaïque.

Systemes hybrides

Définition

Le problème avec la puissance variable et non garantie produite par les sources d'énergie renouvelables, peut être résolu par un couplage des sources d'approvisionnement et la formation d'un système dit hybride (SH). Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable (Lazarov et al, 2005). Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage. D'un point de vue plus global, le système énergétique d'un pays donné peut être considéré comme un système hybride.

Classification

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Dans la suite sont présentées les classifications les plus répandues.

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 connectés réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc.

La structure du système hybride

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système. Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière. Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc ... La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc. Une généralisation de la classification présentée est illustrée sur

la Figure Etudes des systèmes hybrides

Au vue de ces nombreux critères, il est aisé d'imaginer la diversité des études sur les systèmes hybrides disponibles. Une synthèse non exhaustive des études réalisées sur ces systèmes est présentée dans ce paragraphe. 7 Classification des système hybrides Régime de fonctionnement Contenu du système Isolés En parallèle avec le réseau Avec ou sans source conventionnelle Avec ou sans stockage Avec PV, WT, PHE etc. Figure

Classification des systèmes hybrides

Le terme « Système d'Energie Hybride » fait référence aux systèmes de génération d'énergie électrique multi-sources. Il s'agit de systèmes complexes associant différentes sources renouvelables ou bien combinées avec des sources conventionnelles (générateur diesel...), différents éléments de stockage et différentes charges. Ils permettent la compensation du caractère intermittent des sources renouvelables et offrent un rendement énergétique global plus élevé. 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 pour la production de l'énergie. Les systèmes d'énergie hybrides peuvent être connectée aux réseaux électriques ou autonomes, pour le premier cas La production énergétique hybride est alors centralisée et mise en réseau entre plusieurs sites de production et de consommation. La connexion des sources hybrides aux réseaux électriques doit respecter certaines normes qui ne sont pas forcément spécifiques au domaine d'énergies renouvelables. Dans les sites isolés où le réseau n'existe pas, il est donc pratique et dans la majorité des cas nécessaire que le système hybride possède une autonomie totale. Il est donc impératif d'associer un élément de stockage de type accumulateur électrochimique ou hydrogène au système dans la mesure où la consommation et la production sont fortement découplées.

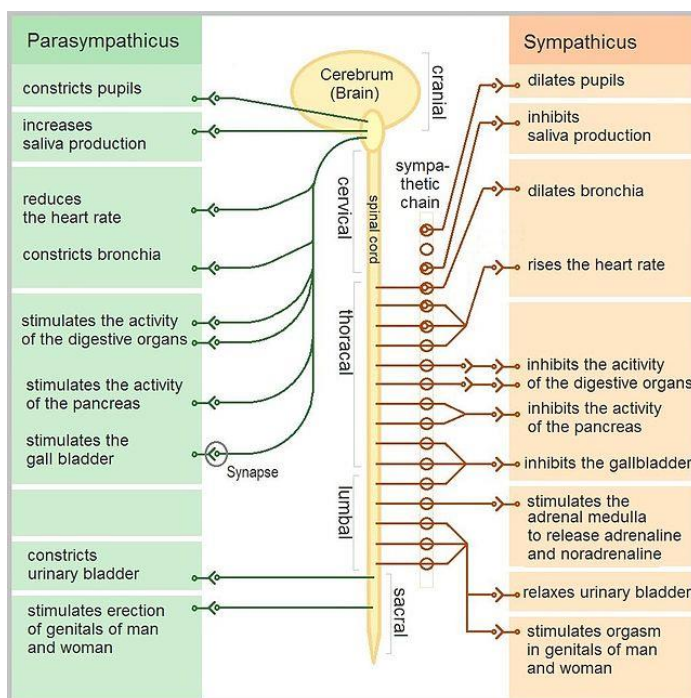
Critères d'optimisation et logiciel de dimensionnement

Critères d'optimisation du système hybride

Différents critères sont utilisés pour optimiser le système en fonction du site d'installation. Les critères les plus fréquemment utilisés sont :

- La probabilité de perte de la charge (lost of load probability) ou la probabilité de perte d’approvisionnement (loss of power supply probability) – ces deux critères sont univoques et rendent compte du rapport énergie non satisfaite et énergie totale consommée sur la période d’étude choisie. En général, le calcul de ce paramètre est réalisé en utilisant l’équation

I. 2.Systèmes autonomes et non autonomes



Systèmes autonomes de production d’énergie Il existe de nombreux sites isolés dans le monde, alimentés par des systèmes autonomes de génération d’électricité. Ces générateurs utilisent les sources renouvelables locales. On y trouve des panneaux photovoltaïques, des éoliennes et des microturbines. L’électricité provenant des sources renouvelables est intermittente, dépendante des conditions climatiques. Ces générateurs renouvelables sont couplés à un système de stockage assurant une disponibilité en continue d’énergie. 4 Le générateur renouvelable sélectionné pour notre étude est un champ photovoltaïque (PV). Généralement, le stockage est assuré par des batteries. Ces systèmes, appelés systèmes PVBatteries, sont actuellement une des solutions les plus utilisées. Les batteries ont de très bons rendements, de l’ordre de 80-85 %, et

un prix très compétitif, si l'on considère la technologie plomb. Mais ses inconvénients sont nombreux : 1) L'autodécharge peut atteindre 15 % par mois. 2) Les contraintes de fonctionnement sont nombreuses afin d'éviter la dégradation prématurée des batteries : a. Pas de charge/décharge trop profonde b. Régime conseillé de charge/décharge c. Sulfatation en cas de stockage prolongé 3) La durée de vie est variable entre 6 mois et 15 ans selon la technologie et son utilisation. 4) Un entretien régulier peut être nécessaire afin de maintenir un niveau suffisant d'électrolyte (cas des batteries ouvertes) 5) En ce qui concerne la sécurité, un local ventilé doit être dédié aux batteries et la maintenance demande des précautions. Les contraintes de fonctionnement décrites ci-dessus, imposent que la taille des batteries soit en regard de la puissance du générateur photovoltaïque, conduisant à une autonomie du système de stockage de 3 à 8 jours selon l'application. Du fait de ce stockage limité, pour qu'un tel système soit autonome, il doit être dimensionné par rapport au mois le plus défavorable¹. Par conséquent, l'excédent solaire produit lors des mois les plus favorables se trouve la plupart du temps mal valorisé. Finalement, les systèmes PV-Batteries ne permettent d'alimenter qu'une charge limitée et seuls les appareils vitaux sont alimentés. Pour augmenter l'énergie délivrée par les systèmes PV-Batteries, un générateur auxiliaire peut être ajouté. Ces générateurs diesel permettent de produire une énergie importante ne dépendant que de l'approvisionnement en énergie fossile. Mais, ses contraintes de fonctionnement sont nombreuses et son entretien important. De plus, ces systèmes, dits systèmes hybrides, sont généralement dimensionnés par rapport au mois le plus favorable, permettant de sous-dimensionner le générateur solaire et conduisant à une consommation importante de combustible tout au long de l'année. D'un point de vue environnemental, ces systèmes ne sont pas idéaux, consommant du fuel et produisant du bruit et des gaz à effet de serre. Pour améliorer les systèmes PV-Batteries tout en conservant leur qualité de respect de l'environnement, une idée, apparue dans les années 90, est d'utiliser l'hydrogène pour stocker l'énergie à long terme. En effet, le gaz peut être produit par un électrolyseur, stocké sans perte importante quelle que soit la durée du stockage, puis converti en électricité dans une pile à

combustible. Ces systèmes, appelés Solaire-Hydrogène ou PV-Hydrogène, présentent de nombreux avantages. Sans pièce en mouvement, l'électrolyseur et la pile à combustible ne produisent que très peu de bruit. De plus, on attend de ces composants une grande fiabilité, peu de contraintes de fonctionnement et une maintenance limitée. Cependant, l'utilisation de l'hydrogène comme stockage d'énergie augmente la complexité des installations. De nombreuses recherches ont été menées sur les systèmes Solaire-Hydrogène. Ces études se sont heurtées à la faible maturité des électrolyseurs et des piles à combustible. 1 Mois où la différence entre la production photovoltaïque et la consommation est la plus faible. 5 Le développement des technologies hydrogène a été très important au cours des dix dernières années. Les progrès réalisés permettent d'envisager des performances élevées du « système de stockage par l'hydrogène », terme qui sera désormais utilisé dans ce mémoire pour désigner le système de stockage couplant un électrolyseur, une unité de stockage de gaz et une pile à combustible. Or, les performances du système de stockage par l'hydrogène n'ont pas été réévaluées. De plus, l'utilisation journalière de ce stockage permettant d'augmenter la génération de chaleur n'a jamais été abordée. Pour participer à l'étude des systèmes Solaire-Hydrogène, le Centre d'Energétique a mis en place en 1999, le projet européen PV-FC SYS. Les objectifs de cette étude sont d'étudier et de développer un système autonome de production d'énergie de faible puissance (< 5 kW), utilisant l'hydrogène comme unique moyen de stockage d'énergie. Ces systèmes PV-FC sont des systèmes Solaire-Hydrogène sans batteries. Les axes principaux de ce projet concernent :

- f* L'intégration des composants et leurs régulations automatiques
- f* La viabilité économique et énergétique (électrique + thermique)
- f* La fiabilité et la maintenance
- f* La modularité et les applications niches
- f* Le degré de sécurité

Pour évaluer les performances des systèmes PV-FC, deux installations ont été réalisées :

- f* Dans un premier temps, un banc d'essai a été construit au laboratoire afin de déterminer le système optimal et de développer les outils nécessaires à son opération.
- f* Le second système est installé dans un site industriel afin d'évaluer les contraintes d'intégration de ces systèmes. Cette installation est présentée en Annexe 4. Les

partenaires européens sont Hydrogens Systems (Belgique), Transénergie (France), Trivea (Luxembourg), ISET (Allemagne), ST Microelectronics (Italie).

Conclusiojn :

Dans ce chapitre une brève description des système d'énergie hybride a été présenté les principales notions liées a la technologie utilisé dans le système a énergie hybrides ont été donnés ainsi que les avantage et l'inconvénient de ces système

Chapitre II modélisation du système d'énergie hybride

II.1 Introduction

Le but d'un système d'énergie hybride est de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable pour satisfaire la demande de la charge. Le stockage d'énergie présente un grand intérêt stratégique et économique dans les conditions du marché libéralisé d'électricité, parce qu'il contribue à la capacité de satisfaire les besoins énergétiques en temps réel et aussi à prévenir les coupures dans l'approvisionnement. Les batteries sont habituellement utilisées pour le stockage d'énergie

II.2 dimensionnement du système hybride

DIMENSIONNEMENT ET OPTIMISATION DU SYSTEME

HYBRIDE PV/EOLIEN 4.1 Modèle économique • Fonction objectif La fonction objective de dimensionnement est le coût de kilowattheure d'énergie (Levelised Unit Electricity Cost_LUEC), peut être déterminé par le rapport du coût global annualisé (Traffic Aquisition Cost_TAC) à l'énergie annuelle produite par le système Le coût global annualisé (TAC) est le produit de coût actuel net global (Total Net Present Cost_TNPC) par le facteur de recouvrement de capitaux (Capital Recovery Factor _CRF). Le TAC TAC

Contraintes Dans le système PV/Eolien/Batteries, A tout moment, la quantité de charge de batterie devrait satisfaire la contrainte Dans les systèmes d'énergie hybrides, pour avoir un système fiable, il faut considérer le concept de la probabilité de perte d'énergie (Loss of Power Supply Probability (LPSP)), qui est définie comme étant la fraction de l'énergie déficitaire sur celle demandée par la charge. Elle exprime le taux de non-satisfaction de la charge. Une LPSP nulle, signifie que la charge est toujours satisfaite et une LPSP égale à l'unité signifiée que la charge n'est jamais satisfaite. Pour une période d'analyse T,

Où, LPS(t) est l'énergie déficitaire lorsque l'énergie demandée par la charge est supérieure à l'énergie produite par les deux sources (solaire et éolienne). Elle est exprimé

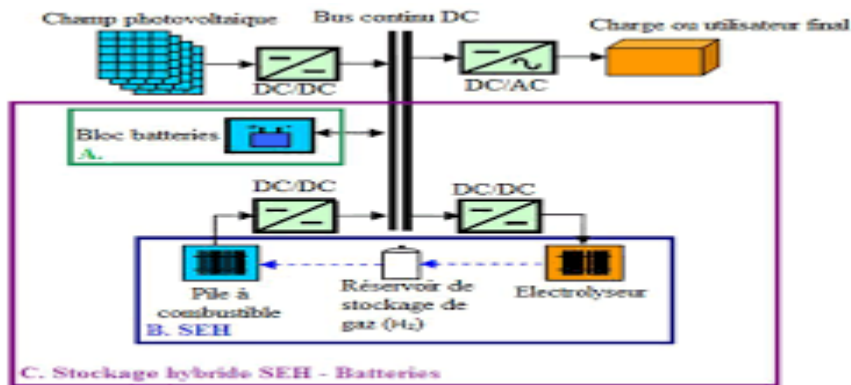
Avec, NB est le nombre des batteries, η le rendement de l'onduleur, $E(t-1)_B$ – est l'énergie stockée dans les batteries à l'heure précédente et C(t) est l'énergie demandée. Afin de calculer

la LPSP , la contrainte suivante est considérée lors du processus d'optimisation: $LPSP \leq LPSP_{désirée}$ Où, $LPSP_{désirée}$ est le maximum autorisé de LPSP et il est spécifié par l'utilisateur.

4.2 Méthodologie Deux méthodes méta heuristiques ont été utilisées dans la méthodologie de l'optimisation du dimensionnement du système hybride, sont des algorithmes stochastiques itératifs inspirés de la nature, qui ont pour objectif la détermination d'un optimum global. 4.2.1 La recherche coucou (Cuckoo Search_CS) Cet algorithme est basé sur la stratégie agressive de reproduction de certaines espèces des oiseaux coucous en combinaison avec le processus aléatoire Lévy flight qui s'inspire du système de vol des mouches des fruits. Elle a été développée par Yang et Deb en 2009. Ils ont utilisé les trois règles suivantes afin d'appliquer et simplifier l'algorithme: Optimisation du dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque/éolien...

273 v Chaque coucou pond un œuf à la fois, et le dépose dans un nid choisi aléatoirement. v Les meilleurs nids ayant la qualité des œufs la plus élevée seront gardés pour les générations suivantes. v Le nombre de nids d'hôte disponibles est fixé, l'oiseau accueillant pourra découvrir l'œuf étranger avec une probabilité P_a . Par souci de simplicité, cette dernière hypothèse peut être approchée par une probabilité P_a de n nids qui vont être remplacés par des nouveaux nids (des solutions aléatoires dans des nouveaux emplacements aléatoires. 4.2.2 Optimisation par essaim de particules accélérer (Accelerated Particle Swarm Optimization_APSO) L'optimisation par essaim de particules repose sur un ensemble d'individus originellement disposés de façon aléatoire et homogène, que nous appellerons dès lors des particules, qui se déplacent dans l'hyperespace de recherche et constituent, chacune, une solution potentielle. Chaque particule dispose d'une mémoire concernant sa meilleure solution visitée, ainsi que la capacité de communiquer avec les particules constituant son entourage. A partir de ces informations, la particule va suivre une tendance faite, d'une part, de sa volonté à retourner vers sa solution optimale, et d'autre part, de son mimétisme par rapport aux solutions trouvées dans son voisinage. A partir d'optimums locaux et empiriques, l'ensemble des particules va, normalement, converger vers la solution optimale

globale du problème traité. Une version simplifiée qui pourrait accélérer la convergence de l'algorithme consiste à utiliser uniquement les meilleures solutions. Cette version a été nommée 'Accelerated Particle Swarm Optimization APSO' a été développée par Xin-She Yang en 2008, ensuite perfectionnée dans des études récentes



II.2 modélisation du système éolien

Un système de conversion d'énergie éolienne (SCEE) transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique en utilisant les pales de rotor. Cette énergie est ensuite transformée en énergie électrique par un générateur. Le système est composé de plusieurs composants, participant directement au processus de conversion d'énergie. Il existe également d'autres éléments qui aident le système à réaliser cette tâche de manière contrôlée, fiable et efficace. Afin de mieux comprendre le processus de conversion de l'énergie éolienne, la description des principales parties d'une éolienne est donnée dans ce chapitre. Comme la source d'énergie d'un SCEE est l'énergie cinétique du vent, la vitesse du vent joue un rôle important dans plusieurs aspects du processus de conversion, en particulier en ce qui concerne la puissance maximale délivrée. Par conséquent, ce chapitre présente les concepts de base et les relations entre la vitesse du vent et la puissance capturée par les pales. Ceci fournit l'information nécessaire pour expliquer comment la puissance d'une éolienne peut être réglée en ajustant l'angle de calage ou en contrôlant le couple ou la vitesse du générateur. Ces méthodes de commande de puissance sont essentielles pour assurer une puissance maximale sur une large gamme de vitesses de vent. Ils permettent également un fonctionnement fiable, protégeant les parties mécaniques et

structurelles de l'éolienne des dommages causés par les fortes rafales de vent

Conception d'une éolienne Il existe deux grandes familles d'éoliennes: les éoliennes à axe horizontal et les éoliennes à axe vertical. La configuration d'une éolienne à axe horizontal est représentée sur la Figure.2.1. Une éolienne est composée de plusieurs parties pour réaliser la conversion d'énergie cinétique-électrique. La vue latérale d'une éolienne typique est montrée à la Figure. 2.1. Il existe plusieurs variantes des composants de cette disposition, en particulier pour les éoliennes à entraînement direct (sans engrenage). Néanmoins, la Figure.2.2 sert de référence générale pour localiser et décrire les différentes parties dans les éoliennes modernes. L'énergie cinétique du vent est convertie en énergie mécanique par les pales montées sur le moyeu du rotor. Le moyeu du rotor est installé sur l'arbre principal, également appelé arbre lent. L'énergie mécanique est transmise par le multiplicateur de vitesse au générateur, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Cette conversion est habituellement assistée par un convertisseur de puissance qui gère la connexion au réseau et le fonctionnement de l'éolienne.

II.2.1.1 modélisation du vente

Les caractéristiques de la ressource éolienne sont importantes dans différents aspects de l'exploitation de l'énergie éolienne. La première étape dans chaque projet d'énergie éolienne est 31 Chapitre 2 : Modélisation et Simulation du Système de Conversion d'Energie Eolienne l'identification des sites appropriés et la prédiction de la viabilité économique du projet éolien. Le vent est très variable, à la fois dans l'espace et dans le temps. L'importance de cette variabilité devient critique puisqu'elle est amplifiée par la relation cubique de l'énergie disponible [59]. Les vitesses du vent définissent le fonctionnement de l'éolienne et sont mesurées couramment avec un anémomètre ou une station météorologique en (m/s) ou (km / h). Les modèles habituels sont [64]: • Distribution de Weibull. • Distribution hybride de Weibull. • Distribution de Rayleigh. • Distribution de Weibull C'est le modèle général qui décrit les variations de vitesse du vent. Ce modèle optimise la conception de la turbine pour minimiser les coûts de production d'électricité. Le coefficient de Weibull reflète la distribution des vitesses du vent et il est déterminé par la courbe de distribution de Weibull. La fonction de densité de probabilité de Weibull Où la densité de probabilité (v) est la distribution de fréquence des vitesses mesurées, c est le paramètre d'échelle de Weibull, avec des unités égales aux unités de vitesse du vent, k est le paramètre de forme de Weibull sans unité, v est la vitesse du vent. Les deux

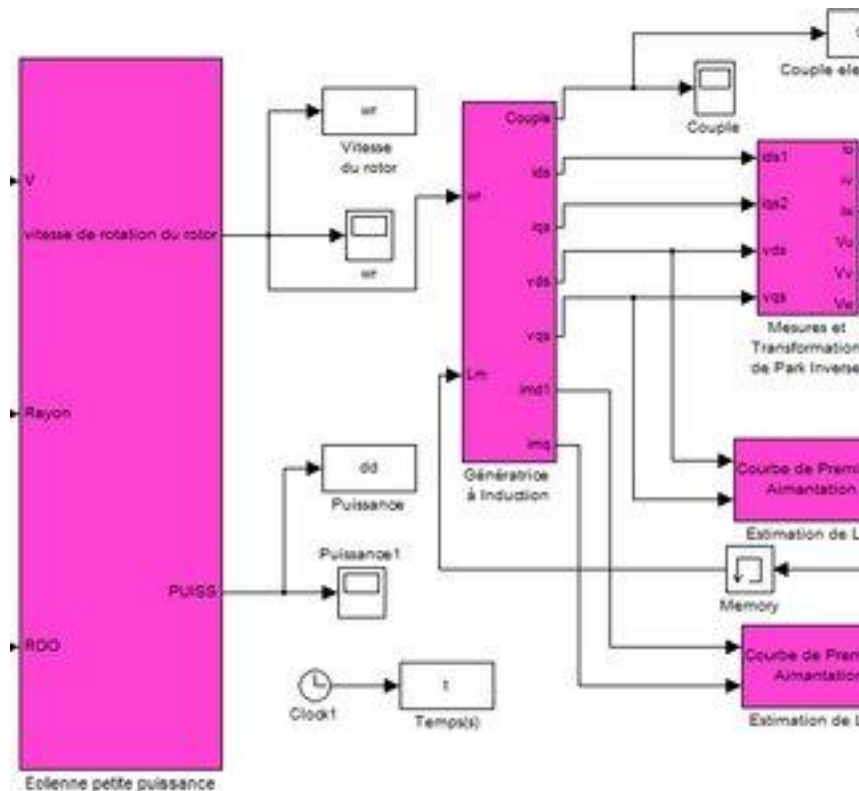
paramètres de Weibull k et c sont utilisés pour le calcul de la vitesse moyenne du vent \bar{v} .

Où Γ est la fonction gamma. • Distribution hybride de Weibull La distribution Weibull hybride est utilisée lorsque la fréquence calme est supérieure ou égale à 15%. En général, cette proportion ne peut être négligée et doit être prise en compte lors de la caractérisation du site en termes de vent

Distribution de Rayleigh La distribution de Rayleigh est un cas particulier de la distribution de Weibull lorsque le facteur de forme k est égal à 2, sa densité de probabilité

La dynamique du vent résulte de la combinaison de conditions météorologiques avec des caractéristiques particulières d'un site de vent donné. Ainsi, la vitesse du vent est modélisée dans la littérature comme un processus aléatoire non stationnaire, cédée en superposant deux composants

Où $v(t)$ est la composante de basse fréquence (décrivant à long terme, les variations de basse fréquence) et $vt(t)$ est la composante de turbulence (correspondant à des variations rapides et à haute fréquence). Les mêmes deux composantes peuvent également être identifiées dans le modèle de grande bande de Van der Hoven (Figure.2.3). La pause spectrale d'environ 0,5 mHz permet de modéliser la composante de turbulence comme un processus aléatoire moyen nul. La composante basse fréquence correspond aux variations très lentes de la vitesse du vent et caractérise le site du vent du point de vue énergétique. Il peut être modélisé comme une distribution Rayleigh (Equation (2.5)). La valeur de cette composante a influencée l'amplitude de la turbulence, mais son évolution n'est pas cruciale pour le comportement dynamique à court et à moyen terme du scee.



Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation de la chaîne de conversion d'énergie éolienne constituée d'une turbine de vent pilotée par le rotor via les deux convertisseurs (CCM et CCR) reliés au réseau via un bus continu et un filtre RL. Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à la modélisation des différents constituants du système éolien. En effet, les modèles analytiques des différents constituants du système éolien ont été établis à savoir le profile du vent appliqué, le dispositif d'entraînement, ainsi que la modélisation des deux parties : mécanique et électrique a été développée. Puis, nous avons donné un aperçu sur le convertisseur coté machine « CCM » utilisé pour l'alimentation du rotor de générateur. Ce convertisseur a été commandé par la technique de modulation de largeur d'impulsion sinus-triangle. La modélisation du convertisseur coté réseau électrique « CCR » est introduit pour la commande de puissance active et réactive. Pour les besoins généraux de contrôle du SCEE, on utilise un modèle global simplifié ayant une puissance finie. De plus, des modèles linéarisés de différentes configurations de SCEE sont présentés, résultant de la combinaison de différents parties de

SCEE (aérodynamique, chaîne d'entraînement, générateur électrique). La vitesse du vent est une variable d'entrée. Pour les SCEE connectés au réseau, les autres entrées sont les tensions du stator ou du rotor. Dans le chapitre suivant, on va analyser également le comportement dynamique de SCEE pour maximiser la puissance capturée avec trois commandes différentes (PI classique, On-Off et On-Off flou)

Chapitre III Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides

III .1 Introduction

L'électricité est aujourd'hui la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon et le gaz naturel pour les plus répandus, permet d'avoir des coûts de production faibles mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant. En vue de rendre l'approvisionnement en électricité plus écologique, de nouvelles sources dites énergies renouvelables ont émergé. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. La filière utilisée dans notre travail est l'énergie solaire. La combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique. L'avantage d'un système hybride par rapport à un système éolien pur ou photovoltaïque pur, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux tels que, la forme, le type de la charge, le régime du vent, le rayonnement solaire, le coût et la disponibilité de l'énergie, le coût relatif de la machine éolienne, le champ photovoltaïque, le système de stockage électrochimique et d'autres facteurs d'efficacité.

Simulation du vent et de la turbine

L'éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor: la densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent. La densité de l'air et la vitesse du vent sont des paramètres climatologiques qui dépendent du site [3]. L'évolution du coefficient de puissance est une donnée spécifique à chaque éolienne. A partir de relevés réalisés sur une éolienne, l'expression du coefficient de puissance a été approchée, pour ce type de turbine

La vitesse variable permet également d'améliorer la qualité de la puissance électrique produite, en introduisant de la souplesse dans la

réaction du système face aux fluctuations brusques de la vitesse du vent. L'inconvénient principal de ce genre de système est le surcoût introduit par l'incorporation des convertisseurs de puissance. Ce coût dépendant de la taille de ces convertisseurs, il devient relativement important pour les éoliennes de grande taille. De plus les performances des composants électroniques utilisés par ces convertisseurs tels que les transistors IGBT diminuent à partir d'une certaine puissance [5]. Au vu de la caractéristique suivante, il apparaît clairement que si l'éolienne et par conséquent la génératrice fonctionne à vitesse fixe, les maxima théoriques des courbes de puissance ne sont pas exploités.

MODELE DE LA GADA

La génératrice asynchrone double alimentation est classiquement modélisée dans le repère de Park, donnant lieu aux équations

MODELE DU REDRESSEUR MLI

Contrairement aux redresseurs classiques, les redresseurs MLI sont réalisés à l'aide de semi-conducteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture. La possibilité de commande à l'ouverture permet un contrôle total du convertisseur, parce que les interrupteurs peuvent être commutés, selon les besoins, aussi bien à la fermeture qu'à l'ouverture

valeur de référence désirée, en utilisant une commande en boucle fermée. La méthode de la bande d'hystérésis permet la commutation des interrupteurs du redresseur, lorsque l'erreur entre le signal et sa consigne excède une amplitude fixée. Cette amplitude est communément appelée fourchette ou bande d'hystérésis. Cette technique ne demande qu'un comparateur à hystérésis par phase

CONCLUSION

Ce travail nous a permis d'étudier le mode de fonctionnement du système de conversion d'énergie éolienne (modèle de la turbine à vitesse variable, modèle de la Génératrice asynchrone à double alimentation et modèle du redresseur MLI à bande d'hystérésis). Les résultats obtenus par simulation montrent que le rendement du système est très encourageant

CONCLUSION GENERALE

La production d'énergie électrique à l'aide des éoliennes fait appel à des compétences poussées dans des domaines multiples et variés : aérodynamique, mécanique, résistance des matériaux, génie électrique et électronique, réglementation, auxquels s'ajoutent bien évidemment les aspects environnementaux. A la lumière de notre travail, nous avons pu aborder les différentes problématiques liées à l'utilisation des machines asynchrones en fonctionnement génératrice, notamment leurs adaptations dans un système éolien. Dans ce mémoire, notre étude s'est portée essentiellement sur la machine asynchrone à cage d'écureuil auto-excitée. Nous avons réalisé une modélisation de la génératrice asynchrone à cage d'écureuil qui a permis de simuler son comportement en régime équilibré et saturé (la simulation du phénomène d'auto-excitation nécessite la prise en compte de saturation par une inductance magnétisante variable en fonction de la tension). Après, nous avons développé une étude analytique particulière de l'auto-amorçage de la génératrice asynchrone en régime permanent à vide et en charge. Nous avons notamment montré que les grandeurs statoriques étaient directement influencées par la variation de la vitesse du rotor de l'éolienne. On a amélioré, également la modélisation du redresseur, en transformant son modèle non linéaire classique en linéaire. Cette amélioration rend la conception du dispositif de commande plus simple, puisque dans ce cas le contrôleur peut être calculé analytiquement et de façon indépendante avec le point de fonctionnement. Un contrôle en mode découplage pour le redresseur de source de tension triphasée a été effectué. Les résultats de simulation montrent que la réponse rapide peut être obtenue, en même temps, pour la tension du bus continu ainsi que, pour la puissance réactive. La solution proposée nécessite la détection de tension d'entrée, le courant de ligne et la tension de sortie. De manière générale, les charges industrielles pour ce redresseur sont

des charges variables, ce qui est le principal inconvénient d'obtenir des contrôleurs simples.

BIBLIOGRAPHIQUES

<https://bu.umc.edu.dz/theses/electrotec/SAA6425.pdf>

<https://www.researchgate.net/publication/266876859> Modélisation simulation et contrôle d'une turbine éolienne à vitesse variable basée sur la génératrice asynchrone à double alimentation

http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/umc/Art14-1_10.pdf

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable

http://www.energies-renouvelables.org/energies_renouvelables.asp