RépubliqueAlgérienneDémocratiqueEtPopulaire

MinistèreDeL'EnseignementSupérieur EtDeLaRechercheScientifique

UNIVERSITE Dr YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de Science et Technologie

Département Génie De La Matière



Mémoire de FinD'etudePour L'obtention du Diplôme

MASTER Mécatronique

Thème

Dimensionnement et Simulation d'un Système Hybride Eolien-Diesel autonome

Réalisée Par :

FAID Mohammed Elamin

BERTALI Abd Elkader

Promoteur :

Pr.ABUDURA Salam

Médéa en2016

Remerciements

Tout d'abord, Nous tiens à remercier DIEU le miséricordieux de nos avoir donné la possibilité de réaliser notre projet, d'arriver à notre souhaits et d'atteindre notre objectifs.

Nous aimerons dans ces quelques lignes remercier toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de notre travail, tout au niveau humain qu'au niveau scientifique.

Nous remercions notre promoteur Monsieur ABUDURA SALAM, sans oublier les membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions Monsieur HANINI, Professeurs à l'université de Médéa, d'avoir accepté de présider mon jury de thèse. Je suis particulièrement sensible au grand honneur qu'il m'a accordé en acceptant cette tâche.

Nous adressons aussi nos remerciements à nous familles pour toute l'aide, qu'elles nous ont apportées tout le long de nos études.

Et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à notre soutien moral.

Finalement, un grand merci à toute la promotion de la mécatronique, tout en leurs souhaitons un avenir plein de réussite.

Amin et Abdelkader

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère,

A mon très cher père,

A mes frères OUSSAMA, YACINE

A mes sœurs NOUR ELHOUDA, CHAIMA

A toute ma famille FAID et ALLAL,

A mon binôme ABDELKADER,

A tous mes collègues

KARIM, RACHID, ZAKI, BOUALEM, YOUCEF,

B.SABER *G.SEIF

Et A tous mes amis et connaissances, proche et lointains.

AMIN

Résumé :

Actuellement, Le générateur diesel est la technique la plus utilisée pour l'électrification des sites isolés.

Néanmoins, l'accès à ces sites étant généralement long et difficile, les coûts de maintenance et d'approvisionnement en carburant sont très élevés. En conséquence, nous avons envisagé de coupler – au sein d'un système hybride - un générateur diesel avec source d'énergie renouvelable (éolienne) qui représente alors souvent l'option la plus économique.

Cependant, notre étude porte sur l'alimentation d'une habitation, qui peut être situe sur un site Algériens. Dans un premier temps, nous parlons sur les composantes du système hybride, puis sur l'ensemble de ce système.

Ainsi, nous avons dimensionnés un système qui comporte un groupe diesel, une éolienne et une charge, ce dimensionnement est validé par le logiciel HOMER. Finalement, nous avons simulés ce système dans l'environnement MATLAB /Simulink. Les résultats obtenu indique que l'intégration d'une éolienne dans un

réseau isolé augmente la capacité et la stabilité du système..

Mots-clés : éolien, générateur diesel, système hybride, réseau isolé. HOMER

Abstract

Currently, the diesel generator is the most used technique for the electrification of isolated sites. Nevertheless, access to these sites being generally long and difficult, the costs of maintenance and fuel supply is very high.

Consequently, we planned to couple - within a hybrid system - a diesel generator with renewable source of energy (wind) which then represents often the economic option.

However, our study concerns the supply of a city, which can be located on an Algerian site, by the hybrid system. Initially, we speak on the components about the hybrid system, then on the whole of this system. Thus, we dimensioned a system that comprises a diesel group, a wind-engine and a load, this dimensioning is

Validated by software HOMER. Finally, we simulated this system in environment MATLAB /Simulink. The results obtained indicate that the integration of a wind-engine in an isolated network increases the capacity and system stability.

Keywords: wind system, diesel system, hybrid system, the load, and sizing.

ملخص

في الوقت الحالي يعتبر مولد الديزل التقنية الأكثر استعملا خاصة في الجزائر، لتزويد المناطق المعزولة حيث ان تكاليف الصيانة والتزويد بالوقود جد مرتفعة، لذلك فإننا توجهنا لدمج مولد الديزل بتوربينات الرياح التي تعد الأمثل اقتصاديا.

وكذلك حددنا الابعاد النظام الهجين والتحقق منها عن طريق برنامج HOMER.

وكذلك قمنا بمحاكاته بواسطة بيئة MATLAB/SIMULINK. حيث ان دمج التوربينات قلل من الاستهلاك للوقود ورفع السعة كما ساعد على استقرار النظام.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

SEH	Système d'Energie Hybride
GD	Générateurs diesel ou groupe diesel
CC	Courant continu
CA	Courant alternatif
GAS	Générateur Asynchrone
GACE eng : (SCIG)	Générateur Asynchrone à Cage d'Ecureuil
GARB	Générateur Asynchrone à Rotor Bobiné
GADA eng : (WRIG)	Génératrice Asynchrone à double Alimentation
GS	Générateur Synchrone
GSAP eng : (PMSG)	Générateur Synchrone à Aimants Permanents
GFT	Générateur à flux transversal
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsions
MADA	Machine asynchrone à double alimentation

Liste des Figures

Figure I.1 : *Chaine de conversion avec une génératrice asynchrone et convertisseurs statiques*..6

Figure I.2 : *Eolienne installée à : a) Mongolie b) McMurdo Station Antarctique c)Coyaique,Chile*……6

Figure I.3 : *Principe du fonctionnement d'un GP*……..7

Figure I.4 : *Panneaux solaire installé à : a) Rope Marina b) Parker Ranch c) Brasille*…….....8

Figure I.5 : *Configuration de générateur diesel*…….…..8

Figure I.6 : *Système de supervision*……...9

Figure I.7 : *Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge*…….…….....11

Figure I.8 : *Configuration d'un SH à bus CC*……..……13

Figure I.9 : *Configuration du SH à deux bus à CC et à CA*……14

Figure I-10 : *Courbe du rendement d'un moteur diesel*…….....16

Figure II.1 : *Le groupe diesel*……..……22

Figure II.2 : *Les éléments du moteur diesel*……23

Figure II.3 : *Bloc de modèle simplifié d'un moteur diesel avec un régulateur de vitesse*……....*24*

Figure II.4 : *Structure de la machine synchrone à aimants permanents montés en surface*.....*26*

Figure II.5 : *Modèle équivalent d'un enroulement*……..…..*27*

Figure II.6 : *Bloc diagramme d'un générateur diesel avec un convertisseur DC/DC*……..*30*

Figure II.7 : *Le circuit de conversion*……..…..*31*

Figure II.8 : *Les ondes de tensions générées par un circuit de commande*……..*31*

Figure II.9 : *Schéma de simulation du générateur diesel avec la charge*.....33

Figure II.10 : (a) *La charge (b) La puissance générée par le GD*.....33

Figure II.11 : *(a) La vitesse du moteur diesel (b) La fréquence du système*……...34

Figure II.12 : *Les tensions de charge*…….……34

Figure II.13 : *(a) Les courants de charge (b) Zoom des courants de charge*……...…..35

Figure III.1 : *Principe de la théorie de Betz*…….37

Figure III.2 : *Coefficient de puissance pour différents types d'éoliennes*……38

Figure III. 3 : *Correspondance taille-puissance des éoliennes*……39

Figure. III. 4 : *Aérogénérateur à axe vertical (structure de Darrieus)* ……...40

Figure III. 5 : *Aérogénérateur à axe vertical (structure de Savonius)* ……41

Figure III. 6 : *Aérogénérateur à axe horizontal*……...42

Figure III. 7 : *Eléments constituant une éolienne*……43

Figure III.8 : *Eolienne à vitesse fixe à base de la machine asynchrone à cage*……..44

Figure III.9 : *Puissance théorique disponible au niveau de la turbine éolienne*…….46

Figure III. 10 : *Courbe typique de la puissance produite d'un aérogénérateur à vitesse variable*……..……..46

Figure III.11 : *Eolienne a vitesse variable basée sur une machine asynchrone*….……48

Figure III.12 : *Eolienne à vitesse variable basée sur une MADA*……48

Figure III.13 : *Structure du rotor de la MADA*……49

Figure III. 14 : *Modes de fonctionnement de la MADA*……...50

Figure VI.1 *: Répartition annuelle de la charge électrique*……...……..55

Figure VI.2 *: Répartition journalière de la charge électrique*……..…55

Figure IV.3 : *Architecture du SEH*……..58

Figure IV.4 : *Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source*……..58

Figure IV.5 : *Energie annuelle produite* ……..……..59

Figure IV.6 : *Energie annuelle consommée* ……..…..59

Figure IV.7 : *Schéma de Système globale* ……..59

Figure IV.8 : *La puissance active*…….…….. 60

Figure IV.9 : *La puissance réactive* ……..……..61

Figure IV.10 : *La vitesse de rotation du GD* ……..62

Figure IV.11 : *Les tensions*…….……..……. 62

Figure IV.12 : *La puissance active*……..……..….. 63

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 : *Classification des SH par gamme de puissance……..…14*

Tableau I.2 : *Classification des systèmes Eolien-Diesel basés sur le taux de pénétration de L'énergie éolienne……..……..15*

Tableau II.1 : *Familles d'applications des groupes électrogènes……....19*

Tableau VI.1 *: Répartition journalière de la charge électrique……..55*

Tableau VI.2 : *Variations mensuelles de la vitesse moyenne de vent à 10 m……56*

Sommaire :

INTRODUCTION GENERALE……1

I Chapitre 1

I.1 INTRODUCTION……3

I.2 PRESENTATION DE SYSTEME HYBRIDE……4

I.2.1 Etat de l'art sur le système hybride de génération d'énergie……4

I.2.2 Les principaux composants d'un système SH……5

I.2.2.1 Le générateur éolien……5

I.2.2.2 Le générateur photovoltaïque……7

I.2.2.3 Générateur diesel……8

I.2.2.4 Batteries de stockage……9

I.2.2.5 Système de supervision……9

I.2.2.6 Les convertisseurs……10

I.2.2.7 Les charge……10

I.3 STRUCTURE DES SYSTEMES HYBRIDES……11

I.4 TYPES DES SYSTEMES HYBRIDES……11

I.4.1 Système hybride à base d'énergies renouvelables primaire seulement……11

I.4.2 Système hybride à base d'une ou plusieurs énergies renouvelables avec unité de secours…12

I.4.3 Système hybride à base d'énergie renouvelable avec un système de stockage……12

I.5 ARCHITECTURE DES SYSTEMES HYBRIDES……13

I.5.1 Architecture à bus CC……13

I.5.2 Architecture à bus CC /CA……13

I.6 CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYBRIDES……14

I.7 PROBLEMES RENCONTRES DANS LE FONCTIONNEMENT DES SH……15

I.8 CONCLUSION……18

II Chapitre 2

II.1 INTRODUCTION……19

II.2 LE GROUPE DIESEL……20

II.2.1 Groupe diesel fonctionnant à vitesse fixe……20

II.2.2 Groupe diesel fonctionnant à vitesse variable…….21
II.3 DIMENSIONNEMENT DU GROUPE DIESEL……...21
II.4 CONSTITUTION DU GROUPE DIESEL……...22
II.4.1 Le moteur diesel……..23
II.4.1.1 Définition……...23
II.4.1.2 Modèle simplifié du moteur diesel……...……..24
II.4.2 La machine synchrone à aimant permanant……25
II.4.2.1 Le stator…….25
II.4.2.2 Le rotor……..……..…25
II.4.2.3 Modèle simplifié de la MSAP……..….26
II.5 MODELISATION DU GROUPE ELECTROGENE DIESEL…….28
II.5.1 Modélisation du moteur diesel…….....28
II.5.2 Modélisation de la machine synchrone à aimants permanant…….……29
II.6 CONTROLE DE TENSION ET DE FREQUENCE POUR LE GD…….30
II.7 SIMULATION DU GROUPE ELECTROGENE……...……...…32
II.8 CONCLUSION…….35
III Chapitre 3
III.1 INTRODUCTION……...……...…36
III.2 Energie cinétique du vent conversion en énergie mécanique……...…36
III.2.1 Loi de Betz : ……...……...…36
III.2.2 Coefficient de puissance……...……..…37
III.2.3 Production d'énergie mécanique……...……..……38
III.3. L'aérogénérateur……..……..……39
III.4 Types d'aérogénérateurs…….……..……..……39
III.4.1. Aérogénérateurs à axe vertical…….……..……...40
III.4.1.1.Aérogénérateurs à rotor de Darrieus……..……..…40
III.4.1.2.Aérogénérateurs à rotor de Savonius…….……..…40
III.4.2. Aérogénérateurs à axe horizontal…….……....……41
III.5. Principaux constituants d'une éolienne à axe horizontal…….……...…..…42
III.6. Technologie d'éoliennes de grande puissance…….……...…..…43

III.6.1.Principedeconversiondel'énergiecinétiqueduventen énergie mécanique……...44
III.6.2.Leséoliennesàvitessefixe.……....44
III.6.3.Intérêtdelavitessevariable……...……..45
III.6.4.Eoliennesàvitessevariablecommandéesparlestator……...……..…47
III.6.5.Eolienne vitesse variable à base de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA)……...……48
III.6.5.1.StructuredelaMADA……..……49
III.6.5.2.ModesdefonctionnementdelaMADA……...……49
III.7Conclusion……...……..51
IV Chapitre 4
IV.1 INTRODUCTION……52
V.2 PRESENTATION DE LA CONFIGURATION CHOISIE……52
IV.2.1 Méthodologie adoptée……...……53
IV.2.2 Présentation du site et caractéristiques de la charge……53
IV.2.2.1 L'emplacement choisit.……...……53
VI.2.2.2 L'emplacement du système hybride……..……53
IV.2.2.3 Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique…….54
IV.2.2.4 Chargement primaire……..…54
IV.2.3 Potentiel éolien…….56
IV.3 Dimensionnement des sources……56
IV.3.1 choix d'éolienne……....57
IV.3.2 choix de générateur diesel……57
IV.4 APPLICATION DU LOGICIEL HOMER POUR L'OPTIMIZATION……...…57
IV.4.1 Présentation de l'outil de simulation.……57
IV.4.2 Construction de système hybride de génération d'énergie……..…58
IV.5Interprétation des résultats…….…...59
IV.5.1 Analyse du comportement dynamique du SEH……...59
IV.5.1.1 Variation climatique (vent)……..……..60

IV.6.1.2. Variation de la charge……..……63
IV.7 CONCLUSION ……...…64
Conclusion Générale……..…..65
ANNEXES……..……..…..67

Introduction Générale

Depuis la révolution industrielle la consommation totale d'énergie électrique dans le monde entier est augmentée, elle a plus que doublé en 40 ans (de 1973 à 2013). La grande partie de l'énergie électrique utilisée par l'humanité provient des énergies fossiles. Selon l'agence internationale de l'énergie, ses ressources conventionnelles représentent 80,4 % de production d'énergie globale, elles sont à l'origine de 40 % des émissions mondiales de CO2 [1] [2].

Dans le cadre du développement durable, face au double enjeu planétaire posé les risques de pénurie les matières fossiles et leurs effets sur le changement climatique, lesgouvernements engagés dans le *Protocole de Kyoto* doivent donc multiplier leurs actions dans le secteur de la production d'énergie électrique afin de développer des sources *d'Energies Renouvelables*, propres et inépuisables, ces dernières représentent un gisement considérable au niveau mondial [3].

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici et au future, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables, pour cela plusieurs travaux de recherches ont été lancés dans plusieurs laboratoires de recherche dans le domaine de développement durable, pour but de satisfaire la demande de consommation énergétique d'une part et d'autre part pour réduire les effets négatives des ressources d'origine fossile sur l'environnement .

Une autre problématique s'ajoute à celles détaillées dans les deux paragraphes précédents, celle des sites isolés, plus de deux milliards de personnes disséminées dans des régions isolées. Dans ces secteurs l'approvisionnement électrique dépend seulement des systèmes de génération diesel autonomes, outre le coût de carburants ne cesse d'augmenter, en plus l'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcout d'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement, ce qui rend la production d'électricité économiquement très dispendieuse, ce qui traduit l'application d'une solution parfaite comme une production d'énergie décentralisée, à savoir les *Systèmes Hybrides de génération d'énergie*[4].

Un système hybride de génération d'énergie électrique provient un choix remarquable pour pallier aux problèmes d'alimentation des sites isolés, sa combinaison de plusieurs sources génère une particularité et leur fonctionnement aussi. La diversification en termes de sources d'énergie pour ce système reste un avantage majeur pour limiter le problème de fluctuation des sourcesrenouvelables.

Cependant leur installation nécessite une étudededimensionnement des organes représentant le système pour définir un fonctionnement idéal.

Un système de commande est indispensable si on choisit de combiner entre plusieurs générateurs d'énergie.

Dans ce contexte général, le travail présenté dans ce mémoire est la contribution à l'étude d'un système hybride de génération d'énergie basé sur l'énergieéolien destiné aux sites isolés.

Enfin les principaux résultats de ce travail de recherche et les perspectives sont données dans une conclusion générale.

Chapitre I

GENERALITES ET ETAT DE L'ART DES SYSTEMES HYBRIDES DE GENERATION D'ENERGIE ELECTRIQUE

I.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 tête dans les ressources exploitées pour la production d'électricité. En revanche, l'impact environnemental du charbon est remarquable même avec la présence des technologies plus récentes 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 en trouve le nucléaire. Certainement le pétrole est peu utilisé pour la production d'électricité à l'échelle mondiale mais en parallèle on le trouve avec le gaz à la première place pour la production de l'électricité dans notre pays l'Algérie. Les autres énergies 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 vision ancienne pour la production d'électricité, ils appellent aux ressources d'énergies renouvelables qui vont prendre la base d'autres ressources fossiles afin de répondre aux exigences actuelles. 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 et la dépendance des conditions météorologiques et climatiques qui changent avec le temps [2].

Pour cela les systèmes hybrides combinent entre plusieurs formes d'énergie font l'axe principal de plusieurs travaux de recherche 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.

I.2 PRESENTATION DE SYSTEME HYBRIDE :

I.2.1 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 [3] pour une utilisation d'un système hybride afin d'alimenter des petites maisons, et l'Arabie saoudite en [4] 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 un petit 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 [5] 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 fournissent pas ces informations, mais plutôt des informations

très spécifiques sur l'étude réalisée et des comparaisons des résultats. Dans [2] 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 [6] 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 [7], 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.

I.2.2 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.

I.2.2.1 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 [8]:

- 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.

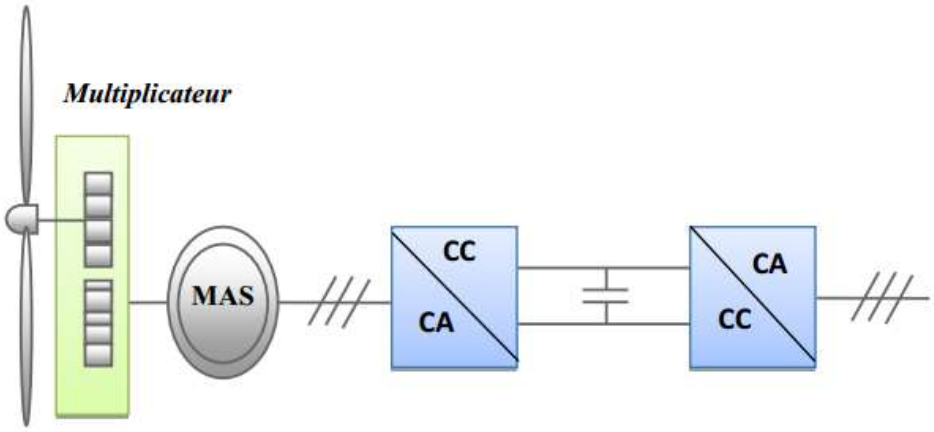


Figure I.1 : Chaine de conversion avec une génératrice asynchrone et convertisseurs statiques

Plusieurs endroits utilisent ce générateur pour une production autonome, les exemples sont nombreuses, on va citer quelques-uns présentés dans la Figure I.7.



Figure I.2: Eolienne installée à : a) Mongolie b) McMurdo Station Antarctique c) Coyaique, Chile

I.2.2.2 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.

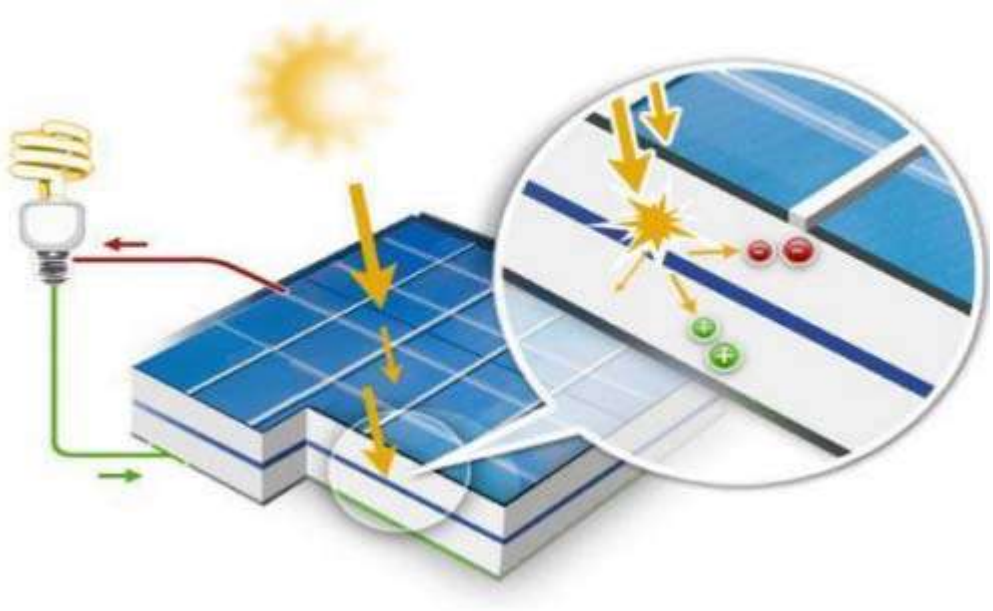


Figure I.3 Principe du fonctionnement d'un GP

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 I.4 Panneaux solaire installé à: a) Rope Marina b) Parker Ranch c) Brésil

I.2.2.3 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 [9].

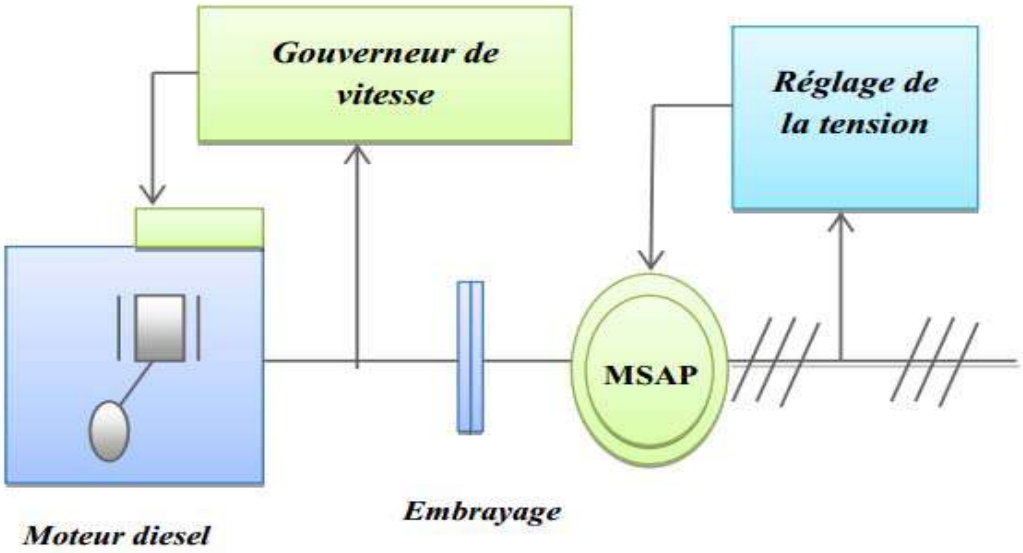


Figure I.5 Configuration de générateur diesel

I.2.2.4 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 aller- retour d'environ 75% et une espérance de vie de 20 ans.

I.2.2.5 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.

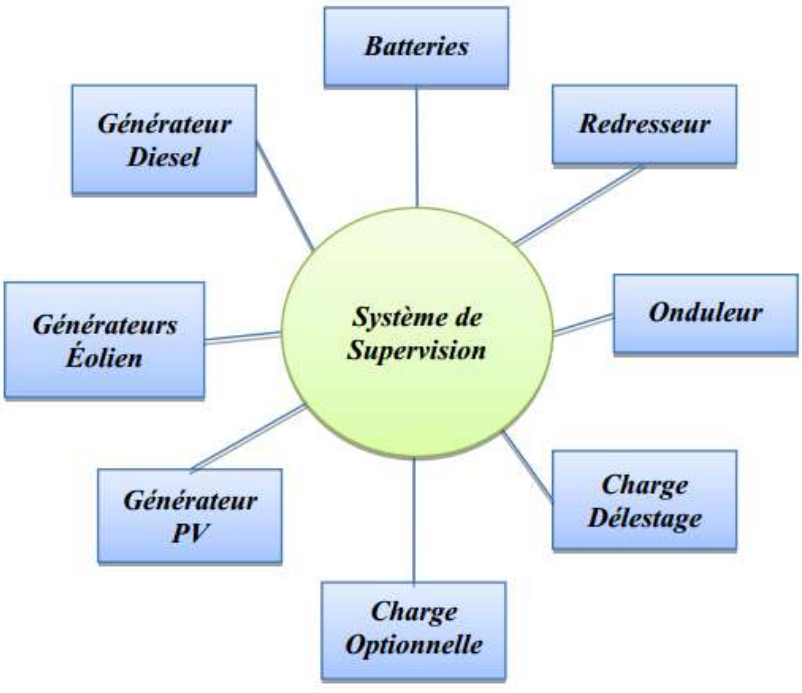


Figure I.6 Système de supervision

Dans la même vision et dans 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.

I.2.2.6 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.

I.2.2.7 Les charge :

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.

I.3 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 [10]. On trouve plusieurs structures des systèmes hybrides pour une génération d'énergie électrique parmi eux:

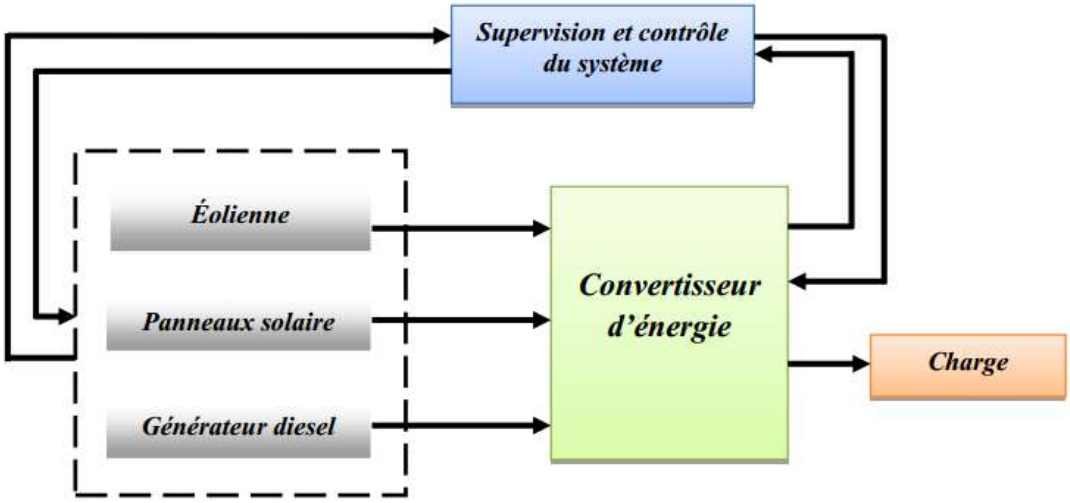


Figure I.7 Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge

I.4 TYPES DES SYSTEMES HYBRIDES :

I.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.

Les auteurs présentent une étude d'optimisation pour un système éolien photovoltaïque. Une modélisation du même système est présentée par *T. Jacob* et *S.Arun* dans [11] ; 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. Et des autres études présentent un système éolien photovoltaïque pour une utilisation dans des zones rurales.

I.4.2 Système hybride à base d'une ou plusieurs énergies renouvelables avec unité de secours :

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. 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. Le même système pour l'alimentation d'un village à la Saoudite Arabie et dans [12] pour une implémentation de système hybride dans le sud du Malaysia présentée par *Mei Shan Ngan.*

I.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 plusieurs articles pour une installation autonome. Mais il y a des travails intéressant fait dans le cadre d'une modélisation et une simulation d'un système éolien photovoltaïque associé à des batteries. Les résultats 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.

I.5 ARCHITECTURE DES SYSTEMES HYBRIDES :

Les différents générateurs d'énergies qui construisent le système hybride peuvent se connecter en plusieurs configurations ce qui rend la topologie du système plus variante selon notre besoin. Deux types d'architectures peuvent existées le plus souvent, une à un bus CC et une autre à un bus mixte CA/CC [9].

I.5.1 Architecture à bus CC:

Dans cette topologie du système, la puissance fournie par chaque générateur est centralisée sur un bus CC, la connexion de toutes les sources sur un seul bus simplifie le système de commande et mène à bien maitriser leur fonctionnement au niveau de dimensionnement optimale de générateur diesel, ce dernier est connecter à un onduleur pour alimenter les charges à CA. En outre tous les systèmes de conversion d'énergie à CA fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs, ce phénomène peut faiblir le rendement de système [9].

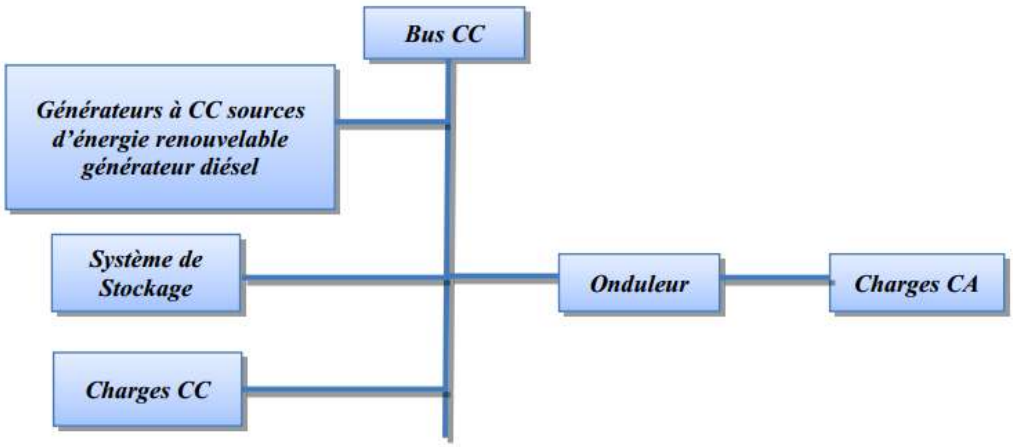


Figure I.8 Configuration d'un SH à bus CC [55]

I.5.2 Architecture à bus CC /CA :

Dans cette configuration, les générateurs d'énergie renouvelable et le générateur diesel peuvent alimenter une partie de la charge à CA directement sans passer par un convertisseur de puissance, ce qui augmente le rendement du système et minimise les pertes en puissance. Le générateur diesel et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou bien en parallèle en synchronisant leurs tensions en sortie et donnant

un avantage particulier pour un fonctionnement des deux sources pendant les pics des charges. La présence d'un convertisseur bidirectionnel peut remplacer le redresseur et l'onduleur situent entre les deux bus. Mais ce mixage de bus complique le système à cause de fonctionnement parallèle des composants [9].

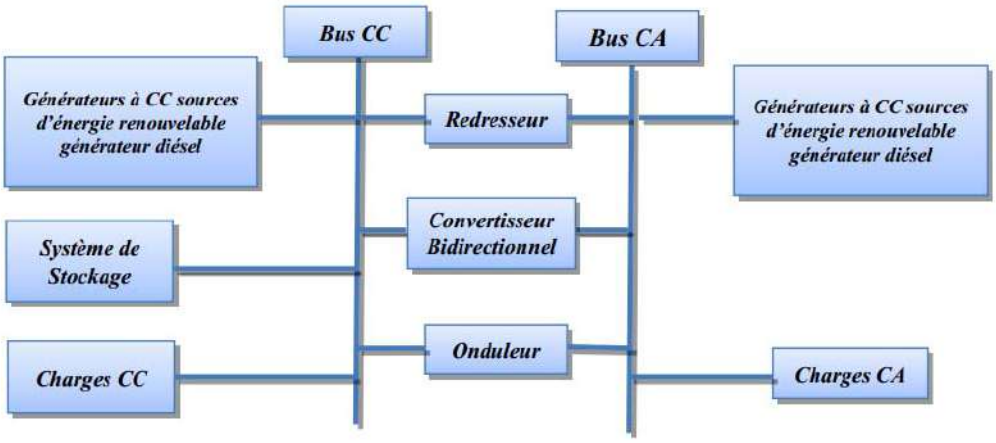


Figure I.9 Configuration du SH à deux bus à CC et à CA [55]

I.6 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 [9].

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

Tableau I.1 Classification des SH par gamme 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 [17].

		pénétration	
Niveau de pénétration	**Caractéristique de fonctionnement**	Pic instantané	Moyenne annuelle
faible	-GD fonctionne sans arrêt. -La production éolienne réduit la charge du diesel. -Toute l'énergie éolienne alimente la charge principale. -Il n'y a pas de système de supervision	< 50%	< 20%
moyen	-GD fonctionne sans arrêt. -Commande relativement simple. -Pour des niveaux élevés d'énergie éolienne, des charges secondaires sont réparties pour assurer une charge suffisante pour le diesel ou la production éolienne est réduite	50%-100%	20% - 50%
Elevé	-GD peut être arrêté en fonction de la production éolienne. -Systèmes auxiliaires pour contrôler la tension et la fréquence. -Commande complexe	100%-400%	20% -150%

Tableau I.2 Classification des systèmes Eolien-Diesel basés sur le taux de pénétration de L'énergie éolienne

I.7 PROBLEMES RENCONTRES DANS LE FONCTIONNEMENT DES SH:

Les systèmes d'énergie en site isolé rencontrent en général les mêmes problèmes que les réseaux faibles. Ces difficultés, qui ne se présentent pas dans les grands réseaux interconnectés, sont en général causées par :

- Les variations de l'énergie d'origine renouvelable (indépendamment de la charge).
- Le manque de connaissances dans le domaine de la qualité de l'énergie en réseau faible.

Compte tenu de la nature stochastique des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des SEH comportant ce type de sources est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels en parallèle, de façon continue (le générateur diesel fonctionne sans arrêt). Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesels. Ceux derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse, mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible (en fonctionnement à vide, la consommation de carburant s'estime à 25-30 % de la consommation à pleine charge). Ainsi, garder un moteur diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consumation de carburant non négligeable.

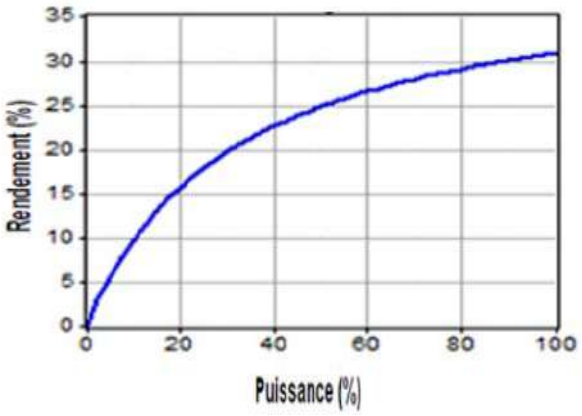


Figure I-10: Courbe du rendement d'un moteur diesel.

Si l'énergie renouvelable est suffisante pour alimenter la plupart de la charge, la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesels par intermittence. En fonctionnement intermittent, les générateurs diesels démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation de l'énergie renouvelable et de la charge. Le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels peut, par conséquent, être très élevé. Le problème dans ce cas est l'usure prématurée des GD et de leurs démarreurs. Un autre problème devant être pris en compte quand le générateur diesel fonctionne par intermittence est le temps nécessaire pour le démarrage et l'arrêt. Le système peut, par exemple, s'effondrer subitement pendant le démarrage du

générateur diesel, si l'énergie renouvelable diminue plus vite que le temps nécessaire pour la phase de démarrage.

Il arrive parfois que la production d'énergie renouvelable soit plus importante que la consommation de la charge. Si l'excès d'énergie dans le réseau ne peut pas être éliminé, la production d'énergie renouvelable doit alors être limitée ou même arrêtée. En général, les systèmes sans stockage utilisent une charge de délestage pour maintenir l'équilibre énergétique et la stabilité de la fréquence. D'autres applications nécessitent des systèmes de commande supplémentaires pour maintenir la qualité de la tension. Tous ces dispositifs, tels que les charges de délestage et les systèmes de commande, augmentent le coût d'investissement qui peut ne pas être justifié par les avantages du système hybride. Seule une stratégie de commande adéquate peut permettre d'intégrer de manière optimale différents composants et donc de rendre le système rentable.

La dynamique des générateurs d'énergie renouvelable peut aussi causer des problèmes dans le fonctionnement des SEH. Par exemple, le démarrage d'une éolienne quand la vitesse du vent est élevée. Dans ce cas, la puissance produite par l'éolienne atteint presque instantanément la puissance nominale du générateur. Ces changements rapides dans la production d'énergie peuvent générer des problèmes de qualité d'énergie (variation de tension et de fréquence) et même l'arrêt complet du système.

Les générateurs asynchrones, largement utilisés dans les éoliennes, ont besoin d'une quantité importante de puissance réactive, surtout pendant la phase d'excitation (démarrage). S'il n'y a pas assez de sources de puissance réactive dans les SEH et une ou plusieurs éoliennes démarrent, l'augmentation soudaine de la consommation de puissance réactive provoque des creux de tension et le système décroche. D'autres sources de perturbations pouvant générer des creux de tension sont les courts circuits. Ceux-ci peuvent provoquer l'effondrement des SEH, mais aussi une phase de ré-excitation des générateurs asynchrones connectés au système.

Une autre perturbation qui peut poser des problèmes est la surtension. Une surtension peut être causée par un court-circuit, l'arrêt d'une charge importante ou la connexion d'un banc de condensateurs.

Un inconvénient majeur dans un SEH connecté en réseau triphasé isolé est le déséquilibre de tension entre les phases. Un récepteur électrique triphasé déséquilibré ou des récepteurs monophasés déséquilibrés alimentés par un réseau isolé triphasé peuvent conduire à des déséquilibres de tension. Ces déséquilibres provoquent des

couples de freinage parasites et des échauffements supplémentaires dans les machines tournantes à CA. Du point de vue de la continuité de la production et de la qualité de l'énergie, les facteurs pouvant affecter le fonctionnement d'un SEH sont résumés ci-après :

- Les variations de la charge à long terme : les régions isolées avec des petits réseaux électriques peuvent subir des changements rapides dans leurs besoins en électricité (généralement, la demande augmente).
- Les variations de la charge à court terme : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelques minutes. Des valeurs minimales sont suivies par des pics.
- Les ressources d'énergie renouvelable : les ressources, comme le vent et le soleil, sont stochastiques par leur nature, ont des caractéristiques locales et sont très difficiles à prédire.
- Les perturbations du réseau : les défauts, tels que les courts circuits, peuvent non seulement arrêter les systèmes, mais aussi, au pire des cas, détruire certains composants.

I.8 CONCLUSION :

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale des systèmes autonomes et système hybrides.

Tous les composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes. Afin de faciliter la conception, nous avons aussi mis en valeur les avantages, les inconvénients et les limites d'utilisation de ces systèmes.

Le problème d'intégration d'énergie renouvelable est bien représenté ici pour bien comprendre le comportement de système.

Dans le chapitre suivant, nous parlerons sur l'énergie éolienne et leur production d'électricité.

Chapitre II

Modélisation D'un Groupe Diésel

II.1 INTRODUCTION :

La production de l'énergie électrique fait partie d'une multitude solutions parmi eux le générateur diesel ou bien le groupe électrogène, ce dernier peut est considérer comme un dispositif autonome capable de produire de l'énergie électrique, bien qu'il soit constitué généralement d'un moteur diesel et d'une machine synchrone généralement à aimant permanent. La taille et le poids de système peut se varier de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes [13].

Plusieurs sont les applications qui utilisent les groupes électrogènes, on les trouve installés dans des zones non couplées au réseau d'énergie, pour l'alimentation des centres de communications. Le coût et la souplesse d'installation de ce dernier peut jouer un rôle faveur en comparaison avec d'autres solutions. Dans le même concept on le trouve associé avec d'autres générateurs d'énergie électrique en construisant un système hybride capable de fonctionner en toute simplicité et en bénéficient d'avantage globale. Une autre application peut se traduise comme un système de secours dans une centrale nucléaire afin d'assurer l'alimentation électrique des auxiliaires de suretés, dans ce cas ils fonctionnent rarement mais ils doivent être disponibles à tout moment et capable d'atteindre une tension et une fréquence nominale en une dizaine de secondes seulement après la réception de l'ordre de démarrage. Ils peuvent se fonctionner aussi en fourniture d'énergie auxiliaire pour limiter la puissance de pointe absorbée sur le réseau d'énergie. On les trouve aussi dans des applications embarquées tirant leur énergie d'un moteur thermique afin d'alimenter toutes applications auxiliaires embarquées à énergie électrique, notamment électroniques, de plus en plus nombreuses dans les véhicules modernes. Le tableau suivant nous donne une image sur les familles d'applications des groupes électrogènes, ce qui concerne la puissance en inclut la vitesse de rotation pour chaque type.

Vitesse de rotation	Type	Puissances	Applications
3000 tr/min	Rapide	Faible	Domestiques-secours
900<N<1800tr/min	Rapide	Moyenne<5000KVA	Production-secours
350<N<900 tr/min	Semi rapide	Forte 4<20 MVA	Production-secours
N<350 tr/ min	lent	Forte	Production

Tableau II.1 : Familles d'applications des groupes électrogènes

Dans ce chapitre on va présenter la constitution et le principe de fonctionnement du groupe électrogène traditionnel, ainsi que son modèle mathématique qui peut également utiliser pour

faire des tests de simulation sous l'interface Simulink du logiciel Matlab.

II.2 LE GROUPE DIESEL :

Dans le marché plusieurs types de groupes électrogènes existent, leur utilisation génère la différence et leur fonctionnement aussi. La génératrice diesel traditionnelle nous intéresse comme étant composée d'un moteur diesel tournant à vitesse fixe accouplé à un alternateur synchrone produisant de l'énergie électrique selon le besoin. Un autre type des groupes électrogènes fonctionnant à vitesse variable sont basés sur l'association d'un alternateur fonctionnant à vitesse et puissance variables entraîné par un moteur diesel et un convertisseur. Une autre nouvelle catégorie des groupes électrogènes pouvant constituer à terme un concurrent sérieux des groupes électrogènes classiques ; il s'agit des piles à combustible qui convertissent directement l'énergie chimique d'un combustible en énergie électrique, de façon statique, pas de mouvement avec un rendement élevé.

II.2.1 Groupe diesel fonctionnant à vitesse fixe :

Ce type de groupe électrogène est constitué d'un moteur diesel qui tourne à vitesse constante relié avec une machine synchrone. En parallèle avec sa simplicité, ce groupe diesel présente quelques points négatifs comme le volume sonore qui est plus grand et constant, un niveau d'émission polluante élevé même lorsque la demande d'énergie est faible, une mauvaise stabilité de fréquence et de tension dans le démarrage et une présence d'un second moteur diesel en plus du moteur principal pour des applications embarquées [13].

Pour ce type de moteur la vitesse doit être constante et stable ce qui traduise une nécessité d'avoir un système de commande puissant et fiable, dans [14] *H. Wei,* présente un système de contrôle basé sur la logique flou, une comparaison des performances avec les autres applications est faite indiquons que cette méthode de logique flou est mieux réalisable que les autres.

II.2.2 Groupe diesel fonctionnant à vitesse variable :

Dans le cadre des recherches d'amélioration concernant le premier type celle à vitesse fixe, le générateur diesel à vitesse variable semble être une solution parfaite au niveau de rendement et de fiabilité. Ce groupe électrogène est basé sur l'association d'une machine génératrice fonctionnant à vitesse et puissance variables entraînée par un moteur diesel et un convertisseur statique qui alimente une charge. L'association d'un convertisseur statique avec l'alternateur nous permet de bien maitriser une variation de fréquence et de puissance à l'état de sortie.

Une étude d'un moteur diesel fonctionnant à vitesse variable en diminue la consommation de carburant qui diminue l'émission de gaz à effet de serre.et la modélisation et simulation d'un moteur diesel à vitesse variable connecté à une génératrice asynchrone à double alimentation présente une étude d'optimisation basée sur des résultats expérimentaux pour un moteur diesel à vitesse variable connecté à une génératrice asynchrone [13].

II.3 DIMENSIONNEMENT DU GROUPE DIESEL :

La puissance générée par le groupe électrogène est faible par rapport au réseau classique.

Cela signifié qu'il sera influencé par la charge supportée, ce qui entraine des fluctuations dans la fréquence et la tension. La variation dans la charge est donc un paramètre important à étudier avant d'entamer la tache de dimensionnement de système. Le groupe électrogène est généralement dimensionné pour une charge finale connectée prévue.

Il est essentiel que les règles de sécurité doivent être respectées, afin d'éviter d'endommager les personnes et les matériels. Une installation du groupe électrogène peut provoquer des situations dangereuses car le court-circuit dans un alternateur est plus de trois fois le courant nominal, il est souhaitable de placer la génératrice près de la charge pour éviter de longs câbles.

Le dimensionnement de générateur diesel doit porter à s'influencer le minimum sur l'environnement. Tous les impacts doivent être étudiés et tout genre de pollution doit être réduit au minimum pour préserver la terre. Les impacts qui traduisent un fonctionnement du groupe diesel sont : les émissions de gaz à effet de serre, les vibrations, le bruit, des perturbations sur le réseau électrique dans le cas de connexion avec ce dernier.

Les problèmes proviennent principalement de moteur diesel lui-même. Puisque nous parlons des groupes diesels l'impact de l'environnement est trop important à étudier.

II.4 CONSTITUTION DU GROUPE DIESEL :

Le groupe électrogène diesel est généralement composé d'un moteur diesel couplé à une génératrice synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un régulateur de vitesse. Le régulateur fonctionne en ajustant le flux du fuel dans l'objectif de garder la vitesse du moteur et la vitesse de la génératrice constante. Dans le cas de forts vents, l'embrayage découple la génératrice synchrone du moteur diesel. Cependant la machine fonctionne comme un compensateur synchrone et fournit de l'énergie réactive.

Les moteurs diesels sont les moteurs à combustion interne les plus efficaces. La vitesse de rotation d'un tel moteur dépend de la quantité de carburant injecté et de la charge appliquée au vilebrequin du moteur. Le moteur diesel est un système non linéaire, il présente des temps morts et des retards, ce qui rend difficile son contrôle. Les moteurs diesels sont munis d'un régulateur de vitesse : mécanique, électromécanique ou électronique. Celui-ci réalise le contrôle automatique de la vitesse du moteur diesel, en réglant l'injection de carburant en fonction de la charge. Il agit du mécanisme d'accélération, en fournissant le carburant sans variations brusques et répond en finesse aux variations de charge.

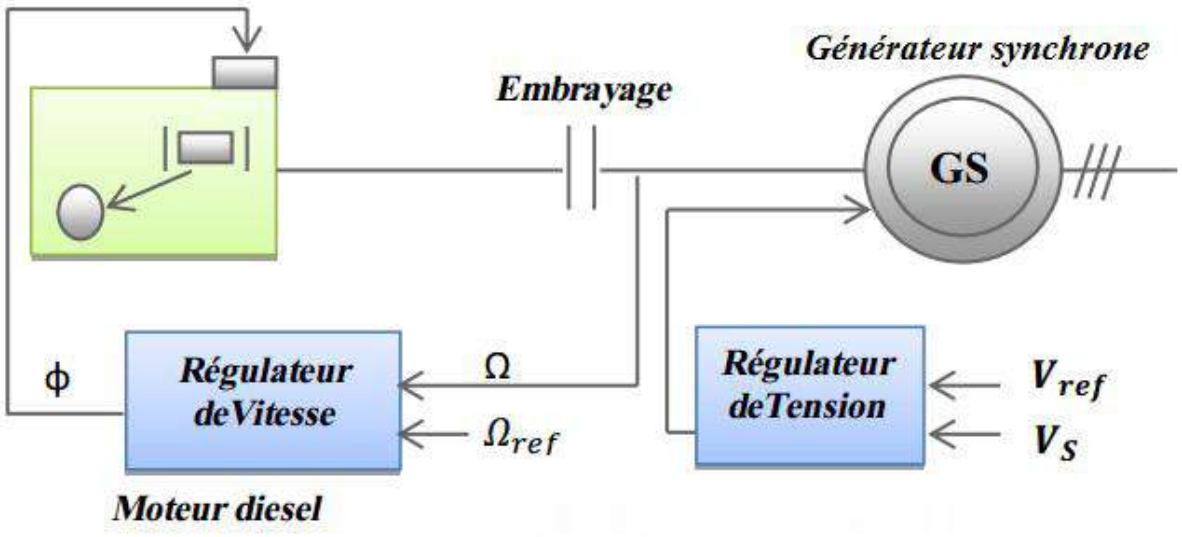


Figure II.1 : Le groupe diesel.

II.4.1 Le moteur diesel :

II.4.1.1 Définition :

L'élément principal dans la construction du groupe diesel est le moteur diesel. On peut se considérer que les premières automobiles furent créées en 1890 construit avec un moteur allemand de Daimler. Mais en 1892 que M. Rudolf Diesel invente le moteur diesel. Il s'agit d'un moteur à allumage par compression ayant un rendement plus élevé que les machines à vapeur et les moteurs à essence à l'époque. Les premiers moteurs diesel rejoignent le monde de l'industrie sont reliés plus précisément avec le marché d'automobile dans les années 1920.

La combustion dans les moteurs diesel s'effectue avec un mélange hétérogène composé d'air et de carburant diesel. Ce mélange est favorable à l'auto-inflammation et n'a donc pas besoin d'étincelle pour s'enflammer. Au début, le diesel est injecté dans le cylindre au moyen d'une pompe à air mais avec les évolutions de la technologie, le carburant est injecté au moyen d'un système haut pression qui pulvérise le carburant**.** La figure II.2 montre les différents composants d'un moteur diesel.

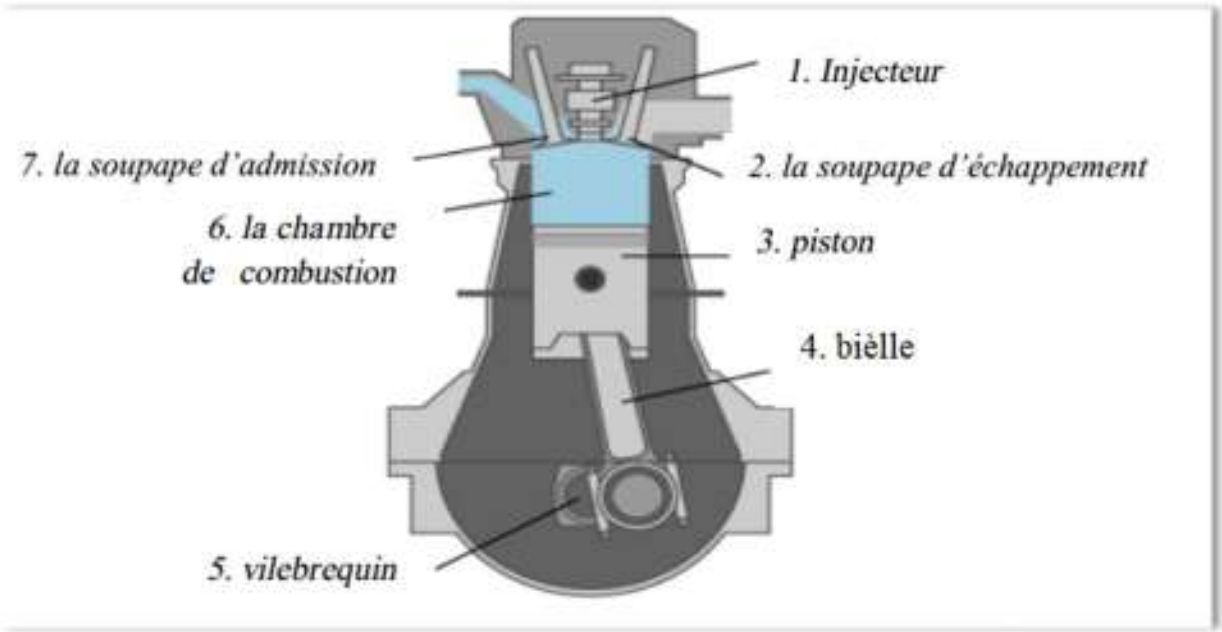


Figure II.2 : Les éléments du moteur diesel

II.4.1.2 Modèle simplifié du moteur diesel :

Ce qui concerne le modèle fonctionnel de moteur diesel, plusieurs recherches ont prenons l'avantage de le présenter à la plus simple image qui reflète les expériences et les mesures en exploitation du système. Le diagramme bloc d'un moteur diesel simplifié et celui du régulateur de vitesse respectivement illustré dans la figure II.3.

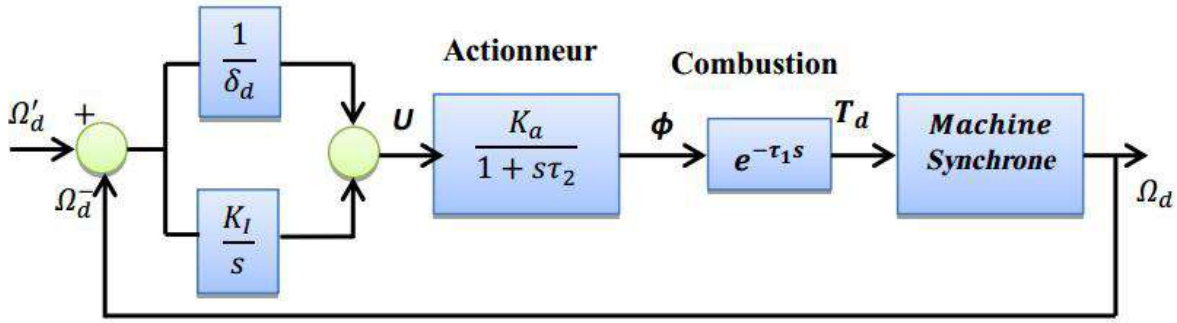


Figure II.3 : Bloc de modèle simplifié d'un moteur diesel avec un régulateur de vitesse

L'entrée de régulateur de vitesse est l'erreur de vitesse de rotation, la sortie est le signal de commande de l'actionneur. Les paramètres du régulateur de vitesse sont le statisme δ_d et le facteur intégrateur K_1.

L'objectif de l'intégrateur est d'éliminer l'erreur statique de la vitesse. La dynamique de fonctionnement de l'actionneur est approchée par un modèle du premier ordre avec le gain K_a qui adapte la relation entre le couple et la consommation de carburant et une constante du temps τ_2, Cette constante de temps dépend de la température du carburant.

Les deux paramètres, K_a et τ_2 sont variables, mais leur variation est négligeable pour des intervalles de temps courts [10].

Le bloc de combustion inclut un retard qui représente le temps nécessaire pour que le moteur diesel réponde à une demande de modification du taux d'injection de carburant, ce temps mort τ_1 est le résultat de plusieurs cylindres qui ne sont pas tous dans la position permettant d'accepter plus de carburant à un instant donné. Le délai peut être exprimé comme étant le temps réel entre les arrivés consécutives des pistons au point d'injection plus approximativement eu quart de tour du vilebrequin. Ainsi, le délai peut être approché par :

$$\tau_1 = \frac{60.h}{2.n_c.\Omega_d} + \frac{60}{4\Omega_d} \quad (2.1)$$

Ou :

h= 2 ou 4 pour des moteurs à deux ou quatre temps,

n_c : Le nombre de cylindres.

Ω_d: La vitesse de rotation en tours par minute. Le couple produit par le moteur diesel.

T_d : La fonction du débit de carburant φ [10].

II.4.2 La machine synchrone à aimant permanant :

L'utilisation de la machine synchrone à aimants permanents est connue depuis des dizaines d'années. Malgré les nombreuses caractéristiques du MSAP en comparaison avec les machines synchrones classiques, la MSAP auto-existé a trouvé peu d'applications pratiques. Toutefois les récents progrès de l'électronique de puissance et les stratégies de commande ont permet de régler la tension du MSAP pour différentes façons. Cela est traduit par un regain d'intérêt au niveau de fonctionnement comme génératrice, en particulier en régions éloignés en associons avec des moteurs diesels. La MSAP est un dispositif électromécanique qui comprend un stator et un rotor. Le stator est une partie fixe où se trouvent les enroulements liés à la source. Le rotor est une partie mobile qui est monté sur l'axe de rotation, voir la figure II.4.

II.4.2.1 Le stator :

Le stator est constitué d'un certain nombre de bobines réparties dans des encoches qui constituent trois bobinages indépendants. Elles sont destinées à créer un champ magnétique tournant lorsqu'on les alimente par un système de tensions ou de courants triphasés. Les topologies rencontrées dans les bobinages des machines tournantes à courants alternatifs sont nombreuses. On distingue deux grandes catégories de bobinage, les bobinages dits réguliers, parmi lesquels on trouve les bobinages à pas diamétral, les bobinages à pas raccourcis, les bobinages répartis et les bobinages non réguliers, comme les bobinages à trous ou à nombre fractionnaire d'encoches par pôle et par phase [15].

II.4.2.2 Le rotor :

Le rotor est l'élément le plus important dans la constitution de la machine, il est constitué d'un noyau de fer sur lequel sont disposés des aimants permanents qui servent à générer une excitation permanente. Les aimants permanents sont des matériaux magnétiques durs

aimantés, ils conservent leur aimantation à la température d'utilisation ; leurs propriétés magnétiques sont déterminées tout d'abord par les propriétés intrinsèques des composés qui les constituent. Elles dépendent aussi fortement de la microstructure du matériau liée au procédé de fabrication. Les aimants permanents peuvent être montés en surface ou insérés dans le rotor. La perméabilité des aimants permanents étant voisine de la perméabilité de l'air, on peut considérer que cette machine possède un entrefer large et constant. Dans ces conditions, la machine peut être considérée à pôles lisses [15].

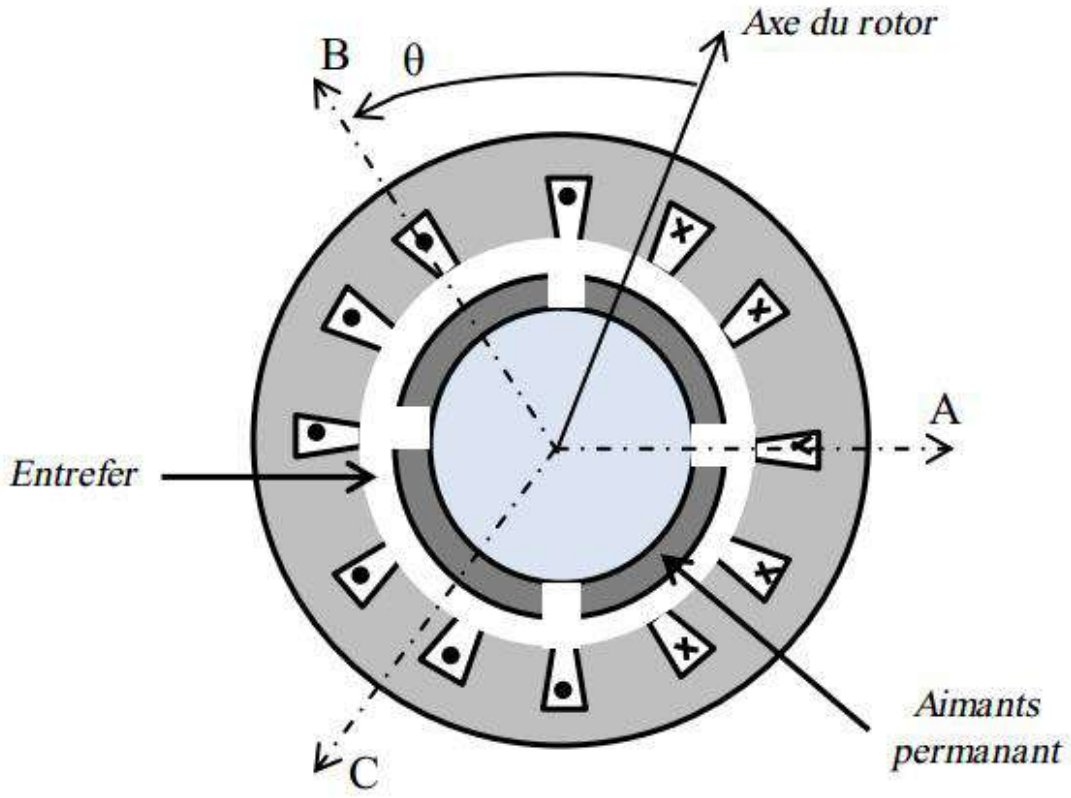


Figure II.4 : Structure de la machine synchrone à aimants permanents montés en surface

II.4.2.3 Modèle simplifié de la MSAP :

La puissance mécanique qui sort du moteur diesel est convertie en énergie électrique par un modèle simplifié de la génératrice synchrone. Les parties mécaniques et électriques de la machine sont modélisées dans le même bloc.

Le rotor de la machine synchrone est constitué d'un aimant permanant qui génère un champ magnétique tournant avec la rotation, les enroulements du stator sont parcourus par un courant alternatif [10].

La liaison qui relie entre la pulsation ω_g du champ magnétique tournant et la vitesse de rotation est :

$$\Omega_s = \frac{\omega_g}{p} \qquad (2.2)$$

Avec $\omega_g = 2.\pi.f$

L'enroulement statorique sera influencé par un champ magnétique tournant prend un emplacement à l'entrefer en créons une force électromotrice $e(t)$ de valeur efficace E :

$$E = k.N.\varphi.f \qquad (2.3)$$

Avec

k : Le coefficient de Kapp.

N : Nombre de conducteurs d'une phase de la machine.

φ : Flux maximum en weber pour une phase.

f : c'est la fréquence de courant alternatif.

La Figure 2.5 montre le modèle équivalent d'un enroulement de la génératrice synchrone :

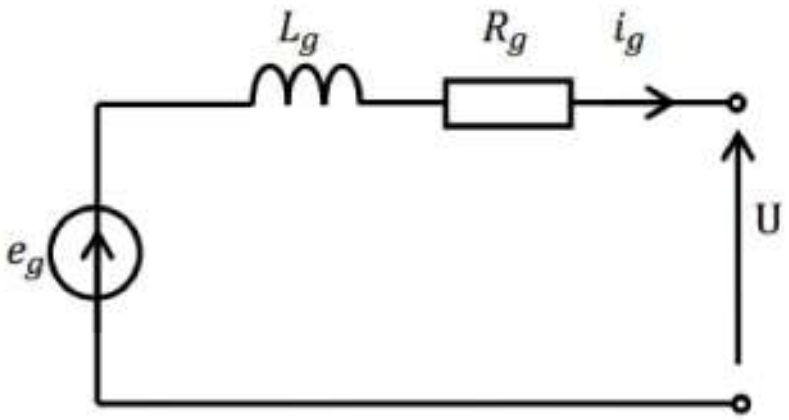


Figure II.5 : Modèle équivalent d'un enroulement

e_g : F.é.m. à vide en volt.

U : Tension aux bornes d'un enroulement de la machine en volt.

R_g : Résistance de l'enroulement en ohm.

L_g : L'inductance synchrone en henry

D'après le schéma de la Figure 2.5on trouve selon la loi des mailles :

$$e_g = U + L_g.\frac{di_g}{dt} + R_g.i_g \qquad (2.4)$$

Dans le même modèle simplifié l'équation de la partie mécanique sans l'apparition du frottement s'écrit comme suit :

$$J_{ds}.\frac{d\Omega_s}{dt} = T_d - T_{em} \qquad (2.5)$$

D'où:

J_{ds} : L'inertie totale de l'ensemble moteur diesel et générateur synchrone.

Ω_s : La vitesse de rotation.

T_d : Le couple mécanique sur l'arbre.

T_{em} : Le couple électromagnétique.

II.5 MODELISATION DU GROUPE ELECTROGENE DIESEL :

II.5.1 Modélisation du moteur diesel:

La modélisation du moteur diesel doit prendre en considération les pièces du moteur en mouvement, la puissance fournie P_i et la somme des puissances dissipées P_{dis}. Le moteur fonctionne à régime constant pour une charge donnée afin de maintenir constante la tension et la fréquence du courant fourni par l'alternateur. Le principe de la conversion d'énergie s'écrit alors comme suit :

$$P_i - P_{dis} = 0 \qquad (2.6)$$

La puissance fournie peut être représentée par l'expression suivante :

$$P_i = P_{ci}.n_i.m_f \qquad (2.7)$$

Avec :

P_{ci} : Désigne le pouvoir calorifique inférieur du carburant.

n_i : Le rendement indiqué du moteur.

m_f : Le débit de carburant injecté dans la chambre de combustion.

La puissance dissipé totale, inclut d'une part l'effet de frottement des pièces mécaniques en mouvement comme (bielles, pistons, vilebrequin) et d'autre part celui de la charge appliquée sur

le moteur, celle de la génératrice. Elle peut être exprimée par la formule suivante :

$$P_{dis} = P_{mf} \cdot \frac{C_y}{4\pi}\omega + C_r \omega \qquad (2.8)$$

Avec :

P_{mf} : La pression moyenne des pertes par frottement.

C_y : La cylindrée totale du moteur.

C_r : Le couple résistant dû à la charge appliquée.

La modélisation des frottements au niveau des différents éléments du moteur à fait l'objet de nombreux travaux qui aboutissent à des formes très variées. Vu la complexité pour traiter chaque élément à part, il a été préféré d'utiliser les formules d'évaluations globales de ces pertes. La formule la plus précise qui représente la variation de la puissance de frottement en fonction du régime et de la pression d'air à l'admission du moteur s'écrie comme suit :

$$P_{mf} = (1 + \omega.S_{eng}.\left(K_{f1} + K_{f2}.\frac{P_{in}}{P_a} \right) + K_{f3}\omega^2).P_a.\frac{C_y}{4\pi}.\omega \qquad (2.9)$$

II.5.2 Modélisation de la machine synchrone à aimants permanant :

La modélisation de la MSAP dans le repère diphasé est déjà très utilisée pour établir des modèles compacts et adaptés à la synthèse des lois de la commande. La spécificité de la transformation permettant le passage du modèle triphasé classique à un modèle diphasé implique différentes structures des modèles.

Grâce aux nombreux avantages qu'elle a (robustesse, maintenance, prix), la machine synchrone à aimant permanent est intéressante pour l'utilisation comme génératrice couplée à un moteur diesel. Le modèle mathématique de la machine synchrone à aimant permanent doit obéit à certaines hypothèses essentielles simplificatrices :

- L'absence de saturation dans le circuit magnétique.
- La distribution sinusoïdale de le *FMM* crée par les enroulements du stator.
- L'hystérésis est négligée avec les courants de Foucault et l'effet de peau.
- L'effet d'encochage est négligeable.
- La résistance des enroulements ne varie pas avec la température

La modélisation mathématique de la MSAP est illustrée dans **l'ANNEXE 2**.

II.6 CONTROLE DE TENSION ET DE FREQUENCE POUR LE GD :

Les groupes électrogènes ont été utilisés pour la production d'électricité pendant un siècle. Ils peuvent être utilisés connecter directement au réseau ou bien dans un mode autonome.

Dans un système dans lequel les générateurs sont directement reliés au réseau interconnecté, la vitesse des générateurs est fixée par la fréquence du réseau et la tension du système est relativement constante. Tandis que, dans un système autonome, la tension aux bornes tend à varier avec le changement de charge. Ce changement peut élever la puissance électrique générons une affectation de l'état de fonctionnement du système en particulier celles qui contient des petites capacités.

Pour maintenir un fonctionnement idéal des charges connectées, il est nécessaire de maintenir la tension et la fréquence constante en toutes circonstances. Pour la génératrice synchrone, un régulateur automatique de tension est utilisé afin de contrôler la tension aux bornes du générateur. Toutefois, pour une machine à aimant permanent plusieurs méthodes sont appliquées pour vérifier la même condition.

Généralement l'intégration de l'électronique de puissance dans le système sert à régler le contrôle de tension et de fréquence. Dans [18] une solution est présentée pour la régulation de la tension dans un système électrogène, un convertisseur DC/DC est introduit comme une étape de conversion dans le circuit intermédiaire (figure II.6) pour garder la tension constante. Le système de conversion doit être capable d'absorber les surtensions transitoires et faire la compensation des chutes de tensions.

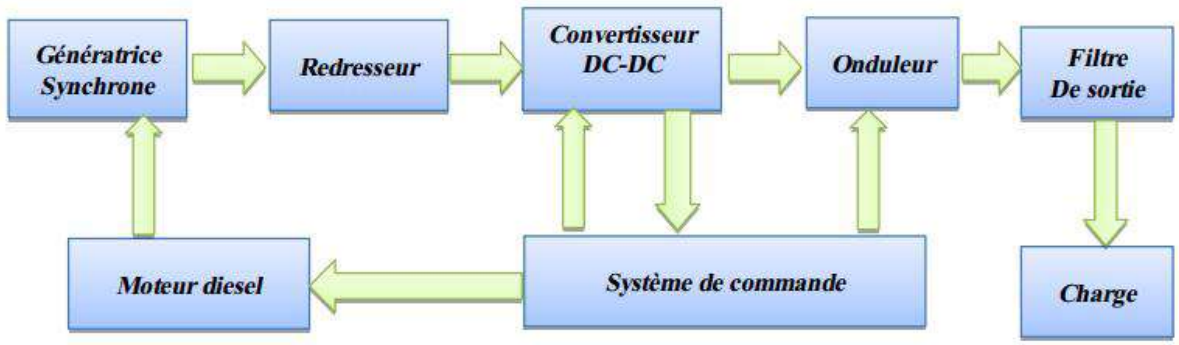


Figure II.6 : Bloc diagramme d'un générateur diesel avec un convertisseur DC/DC

Le même convertisseur doit présenter deux circuits, l'un de puissance et l'autre de

commande. La section de circuit de puissance est constituée de plusieurs éléments de puissances à semi-conducteurs qui fonctionnent comme des interrupteurs statiques. La figure II.7 montre sa configuration pendant une étape de commutation ; sa tâche principale est faire convertir la tension d'entrée à un niveau de tension contrôlée. L'interrupteur S est un dispositif de commutation commandé, il pourrait à n'importe quel moment être commandé en ouverture ou bien en fermeture à l'aide de circuit de commande qui fournit des signaux de commutations.

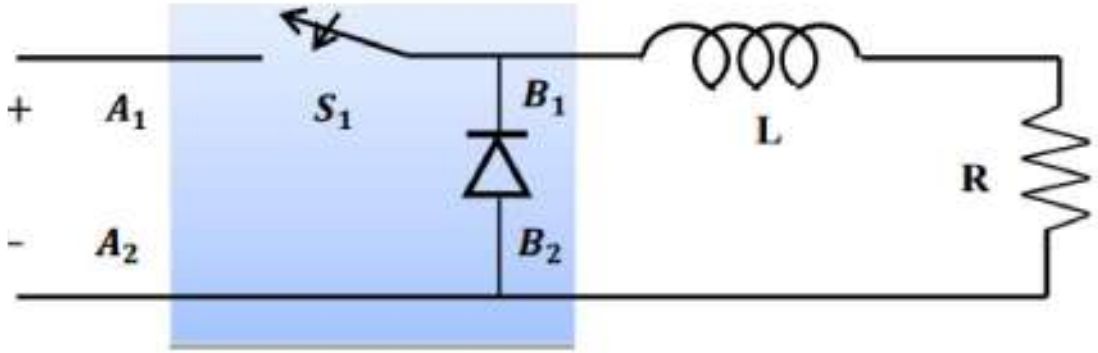


Figure II.7 : Le circuit de conversion

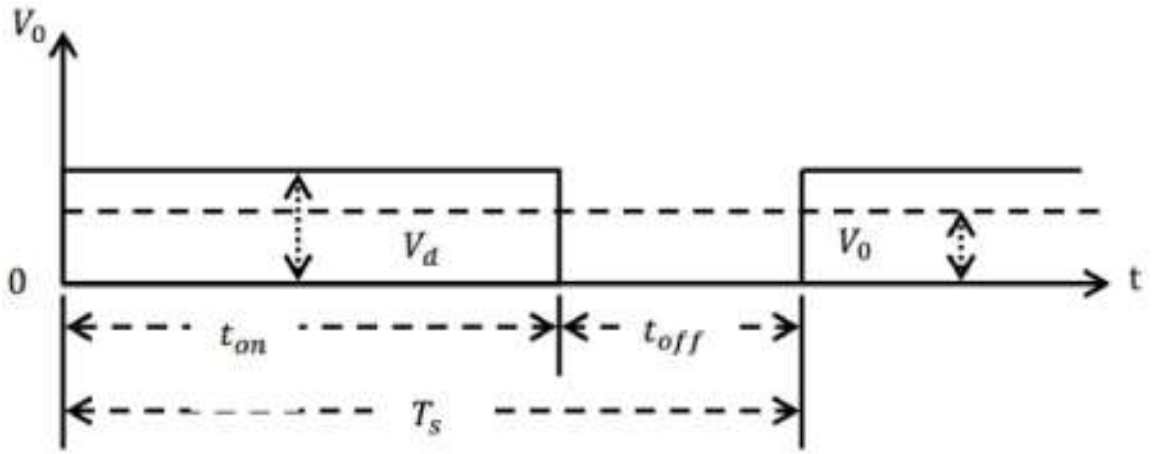


Figure II.8 : Les ondes de tensions générées par un circuit de commande

La figure II.8 montre la forme d'onde de la tension aux bornes de sortie Bl-B2 du convertisseur DC/DC. Il s'agit d'un train d'impulsions rectangulaires à durée défini, cette tension est constituée d'une composante continue et une autre alternative. La composante alternative est l'ondulation de la tension. L'inductance L absorbe la tension d'ondulation de manière à présenter la composante continue à la charge R. La fréquence d'ondulation est la même la fréquence de commutation de convertisseur DC/DC. Avec une inductance suffisamment importante et une fréquence de commutation élevée, la composante d'ondulation de la tension

de sortie peut être négligeable. La tension de sortie moyenne ne peut être calculée qu'en fonction du rapport cyclique de commutation :

$$V_0 = \frac{1}{T_s}\int_0^{t_{on}} V_0(t)dt = \frac{1}{T_s}\left(\int_0^{t_{on}} V_d(t)dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0dt + \right) = \frac{t_{on}}{T_s}V_d = DV_d \qquad (2.10)$$

Par conséquent, le rapport de conversion du convertisseur de tension DC-DC, exprimé comme le rapport de la sortie de tension d'entrée :

$$a = \frac{V_0}{V_d} = D \qquad (2.11)$$

Le rapport cyclique peut être modifié selon le changement de temps de commutation de l'interrupteur. Il est possible de faire varier le rapport de conversion de tension en fonction de besoin. Avec un tel convertisseur DC/DC, une tension constante peut être obtenue même dans le cas des variations de tension d'entrée. Ce résultat obtenu par l'application d'une méthode basée sur la logique floue pour le contrôle de la tension et de la fréquence d'un générateur diesel.

II.7 SIMULATION DU GROUPE ELECTROGENE :

Le modèle du GD est donné dans la Figure II.9. Il est validé par simulation pour assurer le bon fonctionnement des régulateurs de tension et de vitesse. Les paramètres du modèle sont les mêmes qui sont donnés dans L'**ANNEXE 3**.Dans cette configuration le système fourni de l'énergie électrique à l'aide d'un groupe électrogène constitué d'un moteur diesel et une génératrice synchrone à aimant permanant d'une puissance apparente de 300kVA, ce système est connecté à une charge principale de 150kW.

Le temps de simulation est de 10s avec une période d'échantillonnage de 1ms.

La charge primaire étant 50kW jusqu'à t=3s, à cet instant on ajoute une autre charge pour voir une charge de 100kW et à t=6s une totalité de charge est atteindre les 150kW. (FigureII.9)

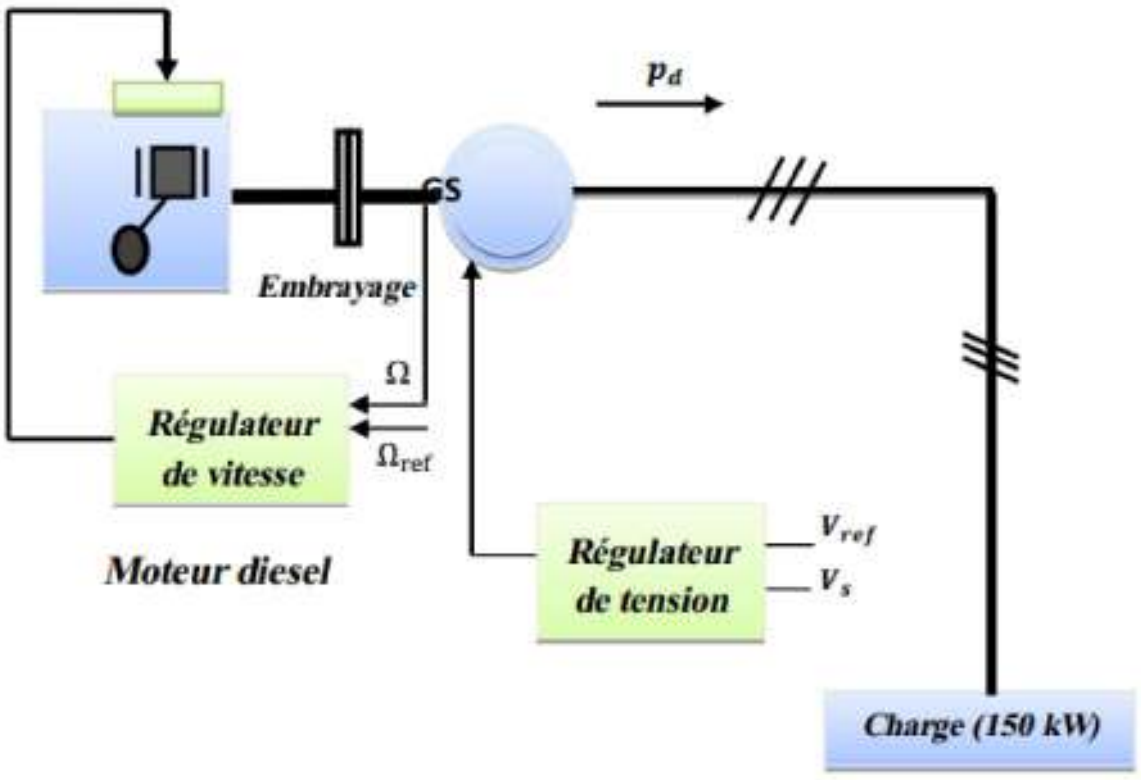


Figure II.9 : Schéma de simulation du générateur diesel avec la charge.

Les résultats de simulation sont montrés dans les figures ci-dessous.

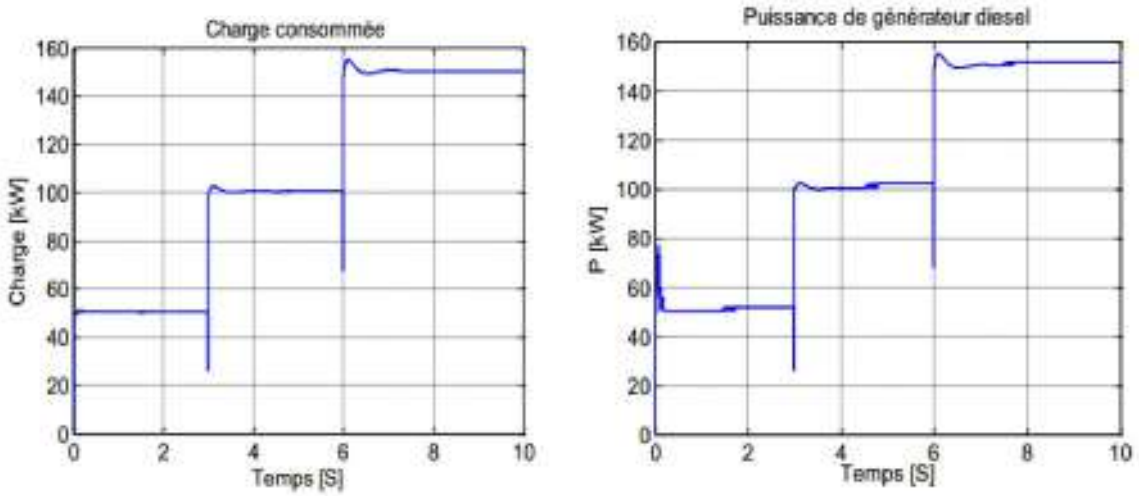


Figure II.10 : (a) La charge (b) La puissance générée par le GD

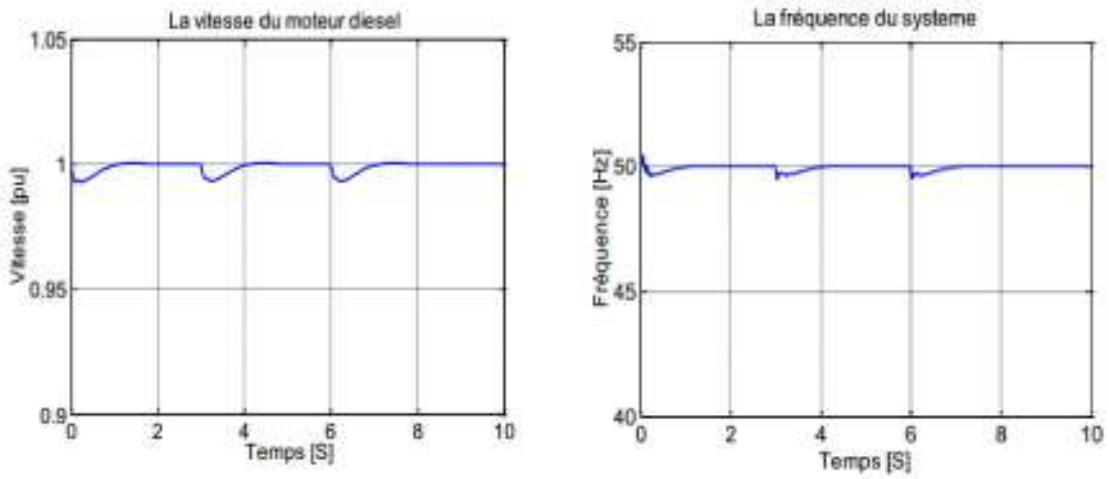


Figure II.11 : (a) La vitesse du moteur diesel (b) La fréquence du système

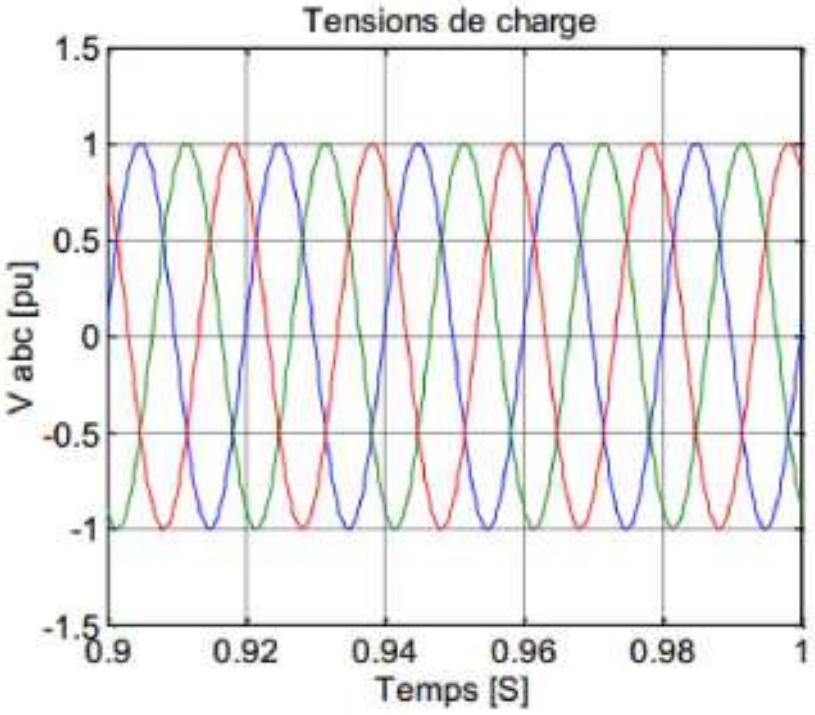


Figure II.12 : Les tensions de charge

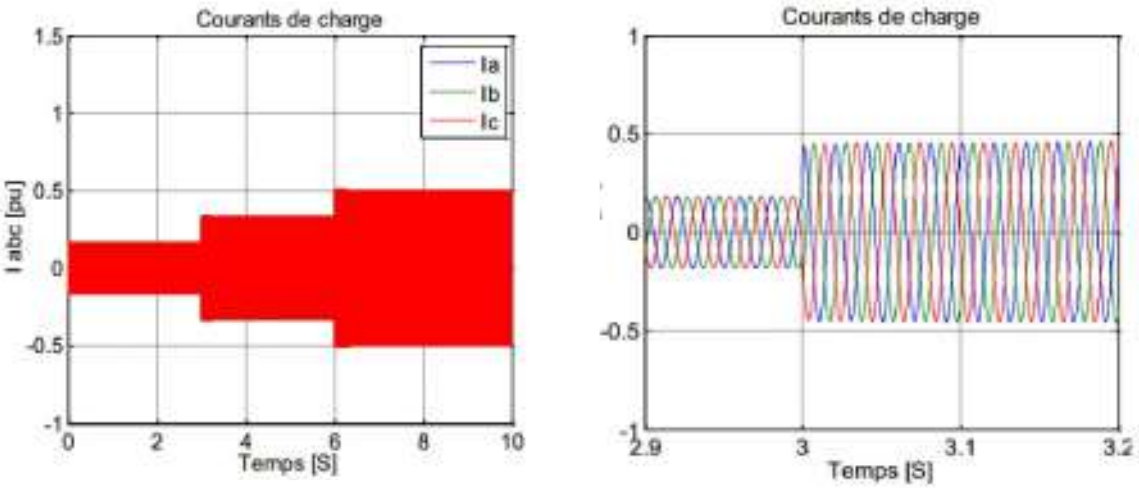


Figure II.13 : (a) Les courants de charge (b) Zoom des courants de charge

D'après les résultats de simulation, on remarque que le moteur tourne à une vitesse presque constante (figure II.12), avec des quelques fluctuations dans sa forme quand la charge demandée dans le système est variée (figure II.10) .ce qui est bien montré sur la (figure II.13) où la fréquence reste autour 50Hz grâce au régulateur de vitesse.

La puissance générée par le groupe diesel suit parfaitement la variation de la charge demandée, ce qui traduit le bon fonctionnement du groupe diesel au niveau de la génération de l'énergie (figure II.11).

Les figures II.14 montrent que le régulateur de la tension joue son rôle important, puisque les formes de la tension et des courants (figure II.14) gardent des formes sinusoïdales.

2.8 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, avons présenté la constitution du groupe électrogène, où nous avons défini les différents éléments qui le constituent, avec une brève présentation de leur fonctionnement à vitesse fixe et variable en utilisant une machine synchrone à aimant permanant. La deuxième partie était consacrée pour la modélisation du générateur diesel, nous avons pu voir que cette tâche est assez importante pour l'étude de la simulation du comportement de système, les résultats obtenus montre le bon fonctionnement du groupe diesel, cependant le problème qui apparait par l'utilisation des groupes diesels est les émissions des gaz à effet de serre.

Chapitre III

Modélisation D'une Chaine éolienne

III.1 INTRODUCTION :

L'énergie éolienne a été longtemps oubliée alors qu'elle était déjà exploitée depuis l'antiquité avec l'utilisation des moulins à vent. Cependant, elle connaît depuis environ 40 ans un essor sans précédent notamment après la crise pétrolière de 1973 qui a alerté les états producteurs d'énergie fossile. En effet, après l'an 2000, le contexte fluctuant des énergies fossiles, l'explosion de la demande mondiale en électricité et les prises de conscience environnementale, ont accentué le besoin de l'énergie propre et durable ou l'éolien occupe une place privilégiée. Fort de son potentiel mondial, celui-ci a ainsi attiré différents acteurs du monde économique et surtout de l'énergie. Ceci s'est traduit par une profonde réorganisation et mutation du marché de l'éolien **[20]** pour lequel les aérogénérateurs ont atteint une certaine maturité technique. Ces aérogénérateurs, généralement à axe horizontal, fonctionnent à vitesse variable permettant l'augmentation de la puissance produite. Le développement des convertisseurs statiques et leur commande a permis le contrôle des puissances produites par ces aérogénérateurs.

Dans ce présent chapitre, les technologies d'éoliennes ainsi que les différents composants constituant l'aérogénérateur seront brièvement présentés. Ensuite, les différentes associations machines électriques-convertisseurs statiques, utilisées pour la conversion éolienne seront étudiées. Vu les avantages incontestés de la machine asynchrone à double alimentation pour la conversion éolienne, elle sera particulièrement présentée en détail dans ce chapitre. L'utilisation des convertisseurs multiniveaux sera discutée en montrant leurs avantages en termes de réduction du contenu harmonique des courants et tensions de sortie et aussi en termes de réduction de l'ondulation de courant.

III.2 Energie cinétique du vent conversion en énergie mécanique

III.2.1 Loi de Betz :

Considérons le système éolien à axe horizontal représenté sur la **(Figure III.1)** sur lequel on a représenté la vitesse du vent V_1 en amont de l'aérogénérateur et la vitesseV_2 en aval. En supposant que la vitesse du vent traversant le rotor est égale à la moyenne entre la vitesse du vent non perturbé à l'avant de l'éolienne V_1 et la vitesse du vent après passage à travers le rotor V_2 soit $\frac{V_1+V_2}{2}$, la masse d'air en mouvement de densité ρ traversant la surface S des pales en une seconde est**[21]**:

$$m=\frac{\rho S(V_1+V_2)}{2}(3.1)$$

La puissance P_m alors extraite s'exprime par la moitié du produit de la masse et de la diminution de la vitesse du vent (seconde loi de Newton) :

$$P_m = \frac{m(V_1^2 - V_2^2)}{2} \quad (3.2)$$

Soit en remplaçant m par son expression (3.1) dans (3.2) :

$$P_m = \frac{\rho S(V_1 + V_2)(V_1^2 - V_2^2)}{4} \quad (3.3)$$

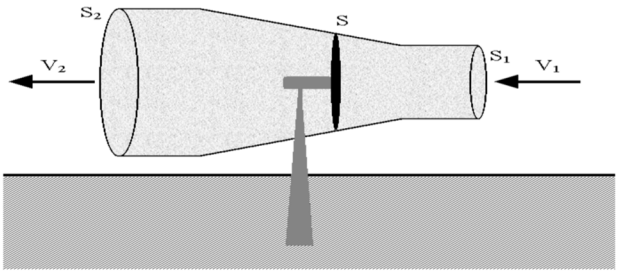


Figure III.1 : Principe de la théorie de Betz

Un vent théoriquement non perturbé traverserait cette même surface S sans diminution de vitesse, soit à la vitesse V_1, la puissance P_{mt} correspondante serait alors :

$$P_{mt} = \frac{\rho S V_1^3}{2} \quad (3.4)$$

Le ratio entre la puissance extraite du vent et la puissance totale théoriquement disponible est Alors :

$$\frac{P_m}{P_{mt}} = \frac{\left\{1 + \left(\frac{V_1}{V_2}\right)\right\}\left\{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2\right\}}{2} \quad (3.5)$$

III.2.2 Coefficient de puissance

Si on représente la caractéristique correspondante à l'équation (3.5), on s'aperçoit que le ratio P_m/P_{mt} appelé aussi coefficient de puissance Cp présente un maxima de 16/27 soit 0,59. C'est cette limite théorique appelée limite de Betz qui fixe la puissance maximale extractible pour une vitesse de vent donnée. Cette limite n'est en réalité jamais atteinte et chaque éolienne est définie par son propre coefficient de puissance exprimé en fonction de la vitesse relative λ représentant le rapport entre la vitesse de l'extrémité des pales de l'éolienne et la vitesse du vent **[22]**.

Les éoliennes à marche lente sont munies d'un grand nombre de pales (entre 20 et 40), Leur inertie importante impose en général une limitation du diamètre à environ 8 m. Leur coefficient de puissance atteint rapidement sa valeur maximale lors de la montée en vitesse mais décroît également rapidement par la suite.

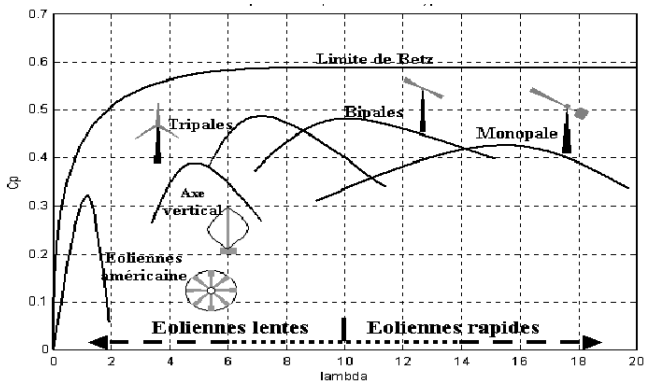


Figure III.2 : Coefficient de puissance pour différents types d'éoliennes

Les éoliennes à marche rapide sont beaucoup plus répandues et pratiquement toutes dédiées à la production d'énergie électrique. Elles possèdent généralement entre 1 et 3 pales fixes ou orientables pour contrôler la vitesse de rotation. Les pales peuvent atteindre des longueurs de 60 m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts **[23]**.

Les éoliennes tripales sont les plus répandues car elles représentent un compromis entre les vibrations causées par la rotation et le coût de l'aérogénérateur.

De plus, leur coefficient de puissance **(Figure III.2)** atteint des valeurs élevées et décroît lentement lorsque la vitesse augmente. Elles fonctionnent rarement au-dessous d'une vitesse de vent de 3 m/s.

III.2.3 Production d'énergie mécanique

En combinant les équations (3.1), (3.4) et (3.5), la puissance mécanique P_m disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur s'exprime ainsi :

$$P_m = \frac{P_m}{P_{mt}} P_{mt} = C_P P_m = C_P(\lambda)\frac{1}{2}\rho\pi R^2 V_1^3 \quad (3.6)$$

Avec :

$$\lambda = \frac{\Omega_1 R}{V_1} \qquad \text{et} \qquad S = \pi R^2 \quad (3.7)$$

Compte tenu du rapport du multiplicateur de vitesse K, la puissance mécanique P_{mg} disponible sur l'arbre du générateur électrique s'exprime par :

$$P_{mg} = \frac{1}{2} C_P\left(\frac{\Omega_1 R}{V_1 K}\right)\rho\pi R^2 V_1^3 \quad (3.8)$$

Cette relation permet d'établir un ensemble de caractéristiques donnant la puissance disponible en fonction de la vitesse de rotation du générateur pour différentes vitesses de vent.

III.3. L'aérogénérateur

Un aérogénérateur, plus couramment appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice.

Selon leur puissance nominale, les éoliennes sont divisées en trois catégories **[20] :**

- Eoliennes de petite puissance : inférieure à 40 KW.
- Eoliennes de moyenne puissance : de 40 à quelques centaines de kW.
- Eoliennes de forte puissance : supérieure à 1 MW.

La Figure (III.3) illustre la correspondance taille-puissance des éoliennes.

Ø: Diamètre du rotor

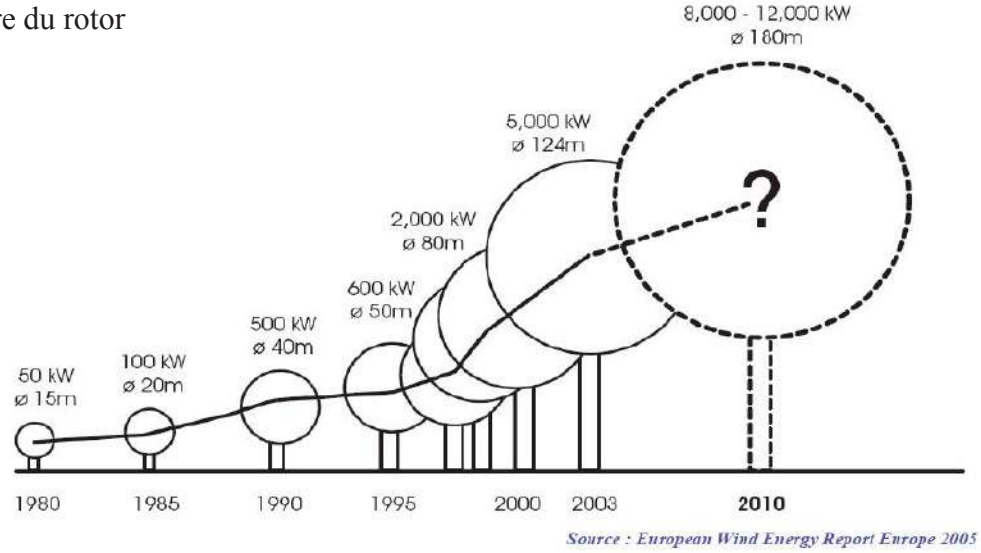


Figure III. 3 : Correspondance taille-puissance des éoliennes.

III.4 Types d'aérogénérateurs

Les solutions techniques permettant de recueillir l'énergie du vent sont très variées. En effet, les turbines éoliennes sont classées selon la disposition géométrique de leur arbre sur lequel est montée l'hélice, en deux types : les éoliennes à axe vertical et à axe horizontal **[20]**

III.4.1. Aérogénérateurs à axe vertical

Les aérogénérateurs à axe vertical ont été les premières structures utilisées pour la production de l'énergie électrique. Plusieurs prototypes ont vu le jour mais rares sont ceux qui ont atteint le stade de l'industrialisation. Ils sont classés selon leur caractéristique aérodynamique en deux familles ; les aérogénérateurs conçus sur la base de la portance (Aérogénérateurs à rotor de Darrieus : conçu par l'ingénieur français George Darrieus) et ceux basés sur la traînée (Aérogénérateurs à rotor de Savonius : inventé par le finlandais Siguard Savonius en 1924).

III.4.1.1.Aérogénérateurs à rotor de Darrieus

Ce type d'aérogénérateur est basé sur le fait qu'un profil placé dans la direction d'écoulement de l'air est soumis à des forces de direction et d'intensité variables selon l'orientation de ce profil **(Figure III.4).** La résultante de ces forces génère un couple moteur entraînant l'orientation du dispositif.

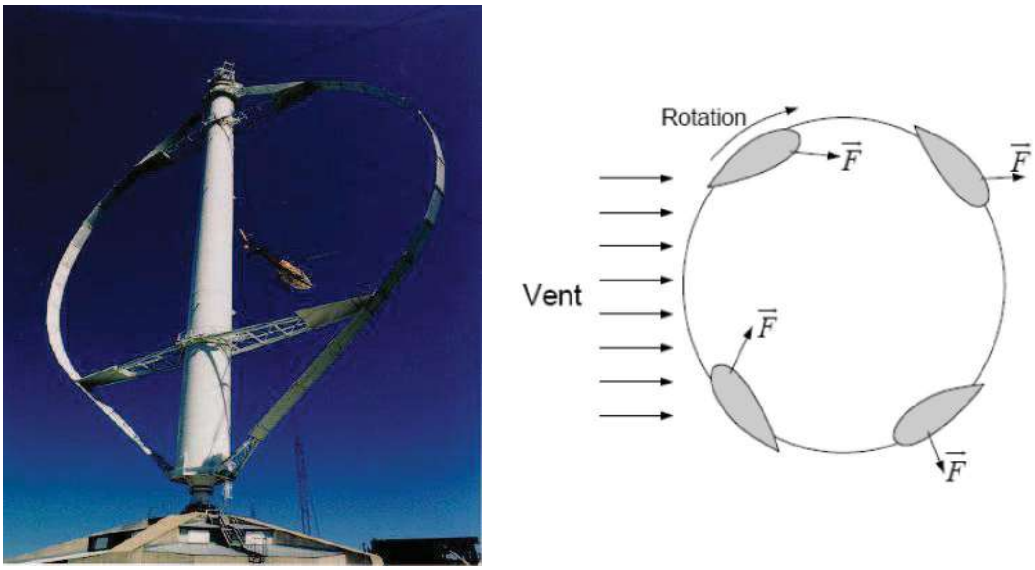


Figure. III. 4 : Aérogénérateur à axe vertical (structure de Darrieus) **[1].**

III.4.1.2.Aérogénérateurs à rotor de Savonius :

Ils sont basés sur le principe de la traînée différentielle qui stipule qu'un couple moteur peut être obtenu par une pression différente exercée par le vent sur les parties concaves et convexes de la structure **(Figure III.5)**.

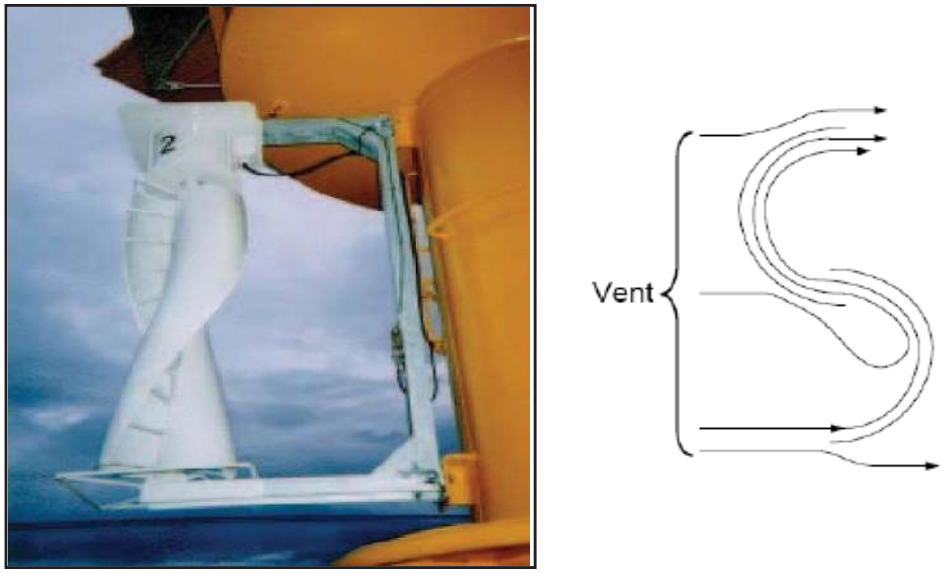


Figure III. 5 : Aérogénérateur à axe vertical (structure de Savonius) **[20]**

Les principaux avantages des éoliennes à axe vertical sont les suivants :

Accessibilité de la génératrice et du multiplicateur mis directement au sol, ce qui Facilite la maintenance et l'entretient.

La non nécessité d'un système d'orientation du rotor car le vent peut faire tourner la structure quel que soit sa direction.

Cependant elles ont comme inconvénients les points suivants :

- Faible rendement et fluctuations importantes de puissance,
- Occupation importante du terrain pour les puissances élevées,
- Faible vitesse du vent à proximité du sol

III.4.2. Aérogénérateurs à axe horizontal

Les turbines à axe horizontal **(Figure III.6)** sont les plus utilisées actuellement comparées à celles à axe vertical puisque elles présentent un coût moins important, en plus elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques **[20].** Elles sont constituées de plusieurs pales pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre des pales varie entre 1 et 3, le rotor tripal est le plus utilisé rotation du capteur éolien **[20].**

Les turbines à axe horizontal sont généralement placées face au vent par un mécanisme d'asservissement de l'orientation ou par un phénomène d'équilibre dynamique naturel assuré par un gouvernail dans le cas d'une turbine sous le vent.

Car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation.



Figure III. 6 : Aérogénérateur à axe horizontal

III.5. Principaux constituants d'une éolienne à axe horizontal

L'éolienne comporte généralement des éléments mécaniques et électriques qui sont illustrés sur la **Figure III.7 [24]**

Le mat ou la tour : c'est un tube d'acier, il doit être le plus haut possible pour bénéficier du maximum de l'énergie cinétique du vent et d'éviter les perturbations près du sol. Au sommet du mat se trouve la nacelle.

La nacelle : regroupe les éléments mécaniques permettant de coupler la génératrice électrique à l'arbre de l'éolienne.

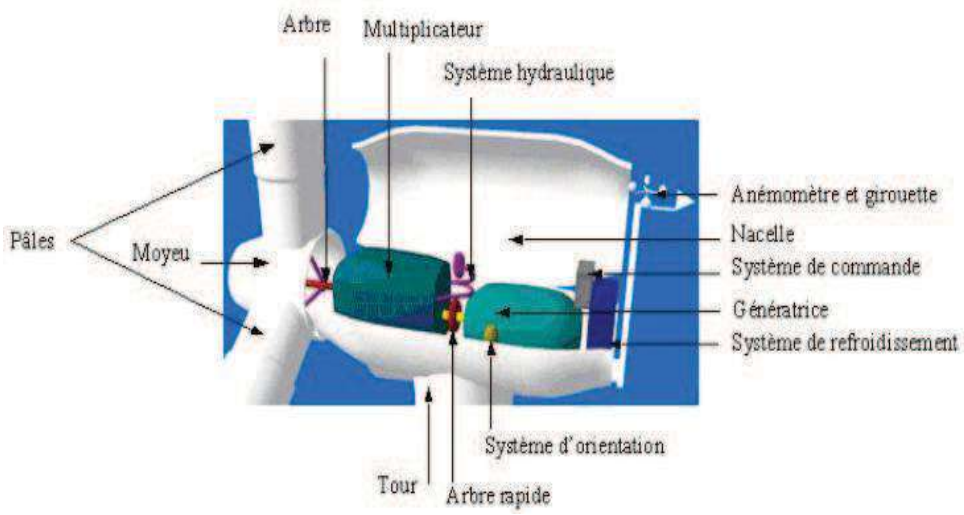


Figure III. 7 : Eléments constituant une éolienne **[24]**

Le multiplicateur : sert à adapter la vitesse de la turbine éolienne à celle de la génératrice électrique.

Le système de refroidissement : se compose généralement d'un ventilateur électrique utilisé pour refroidir la génératrice, et d'un refroidisseur à l'huile pour le multiplicateur.

La génératrice électrique : c'est l'élément principal de la conversion mécano-électrique qui est généralement une machine synchrone, asynchrone à cage ou à rotor bobiné. La puissance électrique de cette génératrice peut varier entre quelque kW à 10 MW **[20].**

Le système de commande : qui contrôle en permanence le bon fonctionnement de l'éolienne et qui intervient automatiquement, en cas de défaillance pour l'arrêter.

L'arbre : qui relie le moyeu au multiplicateur, il contient un système hydraulique permettant le freinage aérodynamique en cas de besoin.

Le système d'orientation des pâles : qui sert à la régulation de la puissance (réglage aérodynamique).

En plus de ces éléments, la turbine est munie des pâles fixes ou orientables et qui tournent à des vitesses nominales inférieures à 40 tr/min.

III.6. Technologie d'éoliennes de grande puissance

Dans cette section, la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique sera brièvement présentée. Les trois technologies d'éoliennes de grande puissance les plus couramment utilisées seront ensuite discutées en se focalisant sur celle utilisant la machine asynchrone à double alimentation

III.6.1. Principe de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique

Le principe de fonctionnement de la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique a été largement présenté ces dernières années dans plusieurs travaux**.** L'énergie cinétique du vent est captée par les pales ensuite transformée en énergie électrique grâce à des générateurs électriques de type synchrone ou asynchrone.

III.6.2. Les éoliennes à vitesse fixe

Les premières éoliennes commercialisées reposent sur l'utilisation d'une machine asynchrone à cage directement couplée sur le réseau électrique **(Figure III.8)**. Un multiplicateur de vitesse entraîne cette machine à une vitesse qui est maintenue approximativement constante grâce à un système mécanique d'orientation des pales. Une batterie de condensateurs est souvent associée pour compenser la puissance réactive nécessaire à la magnétisation de la machine asynchrone à cage.

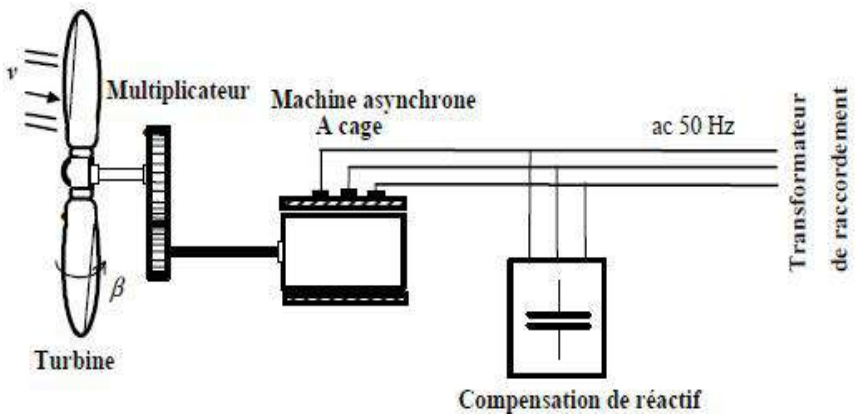


Figure III.8 : Eolienne à vitesse fixe à base de la machine asynchrone à cage

La conception des turbines éoliennes à vitesse fixe est fortement liée aux caractéristiques aérodynamiques et mécaniques. Le temps de réponse de certaines de ces parties se situe dans la gamme de la dizaine de millisecondes **[20]**. En conséquence, en cas de rafales de vent, on peut observer une variation rapide et importante de la puissance électrique générée.

Cette configuration présente les inconvénients suivants :

Un dispositif consommateur d'énergie réactive nécessaire à la magnétisation de la machine asynchrone, sollicité, Bruyant, à cause de la modification du système d'orientation des pales fortement Variations fréquentes du couple mécanique à cause du mouvement des pales pour garder une vitesse constante, ce qui entraîne des variations rapides du courant dans le réseau, Impossibilité de réglage de la puissance générée.

III.6.3. Intérêt de la vitesse variable

L'ensemble des caractéristiques donnant la puissance disponible en fonction de la vitesse de rotation du générateur pour différentes vitesses de vent est illustrée sur la **Figure III.9** À partir de ces caractéristiques, il apparaît clairement que si la génératrice est entrainée à une vitesse fixe les maxima théoriques des courbes de puissance ne seraient pas exploités.

Pour cela, et afin de pouvoir optimiser le point de fonctionnement en terme de puissance extraite, il y a lieu de pouvoir ajuster la vitesse de rotation de l'arbre de la génératrice en fonction de la vitesse du vent.

Actuellement, les éoliennes de forte puissance, connectées aux réseaux de moyenne tension, fonctionnent sous vitesse variable. Les avantages principaux des éoliennes à vitesse variable comparées à celles à vitesse fixe sont les suivants **[20] :**

Augmentation de la plage de fonctionnement, notamment pour les faibles vitesses de vent où le maximum de puissance peut être aisément converti,

Simplicité du système d'orientation des pales. Grâce au contrôle de la vitesse du générateur, les constantes de temps mécaniques des pales peuvent être plus longues, réduisant la complexité du système d'orientation des pales et son dimensionnement par rapport à la puissance nominale P_n,

Réduction des efforts mécaniques grâce à l'adaptation de la vitesse de la turbine lors des variations du vent. De ce fait, l'incidence des rafales de vent sur la puissance générée

Peut-être affaiblie, Réduction du bruit lors des fonctionnements à faible puissance car la vitesse est lente.

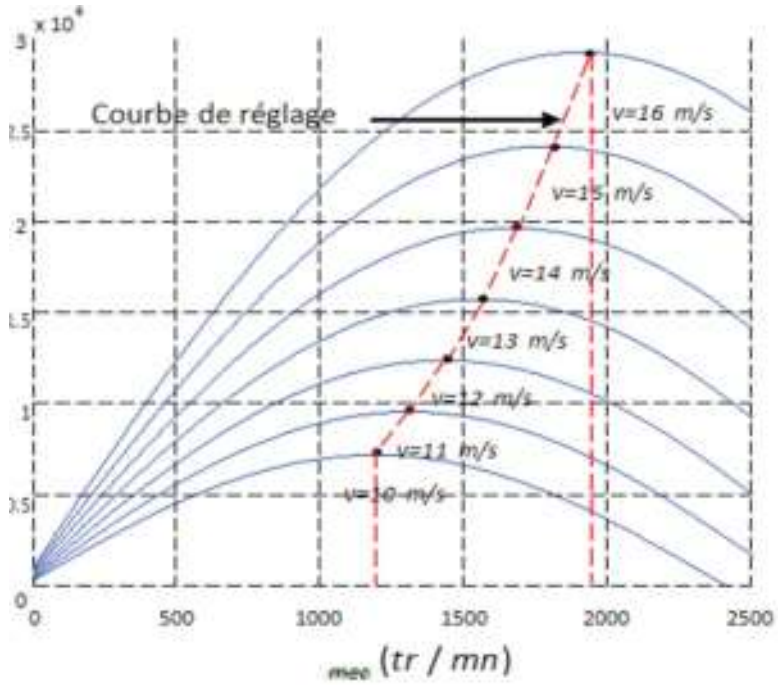


Figure III.9 : Puissance théorique disponible au niveau de la turbine éolienne.

La courbe typique donnant la puissance aérodynamique d'un aérogénérateur, fonctionnant à vitesse variable, en fonction de la vitesse de vent est illustrée sur la Figure **III.10**

Trois zones de fonctionnement peuvent être distinguées. La zone A correspond aux vitesses très faibles du vent insuffisantes pour entraîner l'éolienne et produire de la puissance. La zone *B* correspond aux vitesses moyennes dont le système de contrôle de l'aérogénérateur peut intervenir pour contrôler la puissance électrique à générer. La zone *C* correspond aux vitesses très élevées du vent pour lesquelles la vitesse de rotation de l'éolienne est limitée à une valeur maximale pour éviter des dégâts sur la structure. Par conséquent, la puissance électrique produite est maintenue constante et égale à sa valeur nominale.

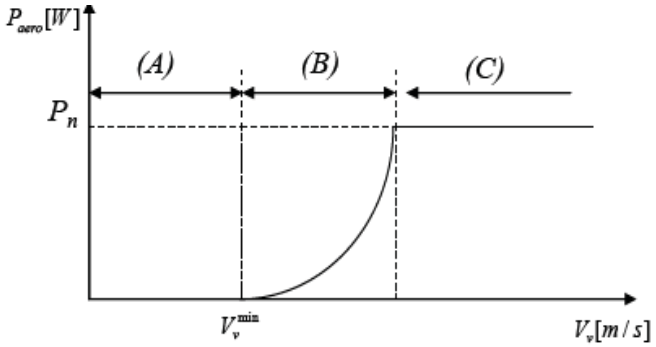


Figure III. 10 : Courbe typique de la puissance produite d'un aérogénérateur à vitesse variable.

III.6.4. Eoliennes à vitesse variable commandées par le stator

Les machines électrique qui sont couramment utilisées pour ce genre d'éoliennes, directement couplées au réseau, sont les machines asynchrone à cage et synchrone à aimant permanent. La machine asynchrone à cage est généralement couplée à la turbine via un multiplicateur de vitesse **(Figure III.11),** tandis que la machine synchrone à aimant permanent peut être couplée aussi à la turbine à travers un multiplicateur **(Figure III.12.a)** ou couplée directement à la turbine **(Figure III.12.b)** si la machine comporte un grand nombre de pôles évitant ainsi le multiplicateur de vitesse **[25] [20].**

Le fonctionnement à vitesse variable de ces éoliennes est devenu possible grâce au développement des convertisseurs statiques et de leurs dispositifs de commande. En effet, deux convertisseurs statiques interfacés par un bus continu sont utilisés. La connexion de ces convertisseurs est réalisée au moyen de trois inductances de lissage permettant de réduire significativement les harmoniques de courant.

Le premier convertisseur assure le contrôle de la puissance générée en agissant sur la vitesse du générateur. Ceci permet de limiter le système d'orientation des pales à une fonction de sécurité par grand vent **[20]**. Le second permet avec une commande adéquate de délivrer des courants de fréquence fixe correspondant à celle du réseau, avec la possibilité de régler le facteur de puissance (puissance réactive). La puissance nominale de la machine détermine alors la puissance maximale que peut fournir l'éolienne.

Malgré le fonctionnement à vitesse variable, cette technologie d'éoliennes présente plusieurs inconvénients :

Le dimensionnement des convertisseurs utilisés est effectué pour transiter la totalité de la puissance échangée entre la machine et le réseau,

Le dimensionnement des filtres est également réalisé pour transiter la puissance totale.

Cela engendre des problèmes de conception, d'encombrement et également une répercussion sur le coût **[20**],

L'augmentation des pertes des convertisseurs de puissance avec l'augmentation de la puissance des éoliennes, ce qui influe sur le rendement du système éolien et cela, sur la plage entière de fonctionnement.

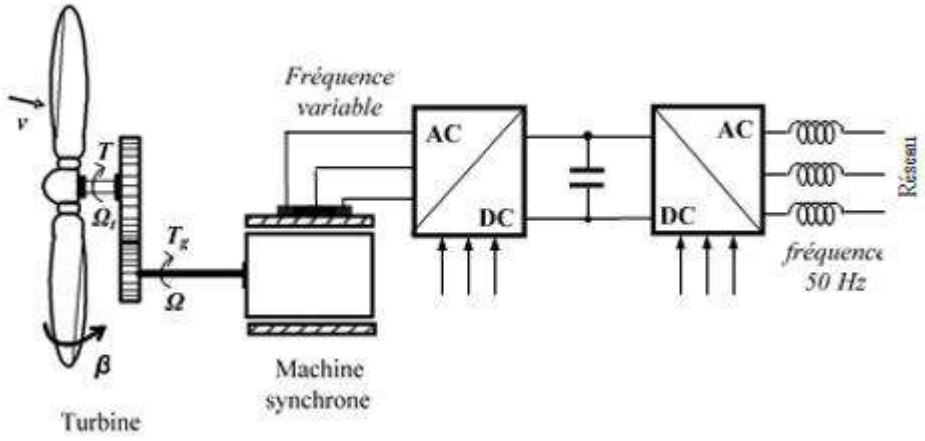


Figure III.11 Eolienne a vitesse variable basée sur une machine asynchrone

III.6.5. Eolienne vitesse variable à base de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA)

La Machine Asynchrone Doublement Alimentée (**MADA**) a suscité un intérêt particulier surtout en tant que génératrice dans le domaine de l'énergie éolienne. En effet, à travers cette section la structure de cette machine, les différents modes de fonctionnement et les configurations les plus utilisés seront présentés. Pour les éoliennes utilisant la **MADA**, le stator de celle-ci est directement couplé au réseau alors que son rotor est connecté au réseau à travers une interface composée de deux convertisseurs statiques (Convertisseur coté **MADA** et convertisseur coté réseau) Cette machine sera adoptée pour le reste du travail de thèse.

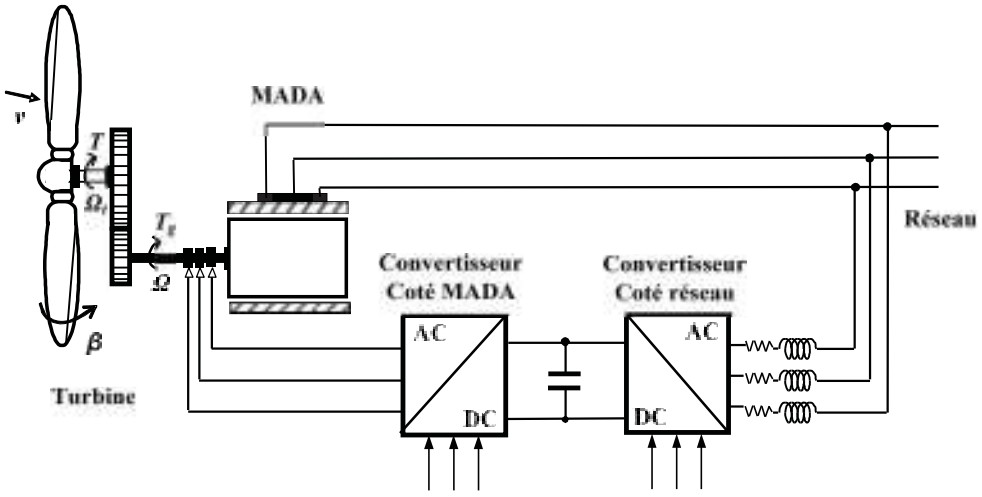


Figure III.12 : Eolienne à vitesse variable basée sur une **MADA**.

III.6.5.1.Structure de la MADA

Elle possède un stator identique à celui d'une machine asynchrone classique ou d'une machine synchrone. La différence réside dans le rotor composé d'enroulements triphasés disposés de la même manière que les enroulements statoriques et connectés en étoile. Leurs extrémités sont reliées à des bagues conductrices sur lesquelles viennent frotter des ballais **(Figure III.13),** ce qui permet d'accéder aux grandeurs rotoriques

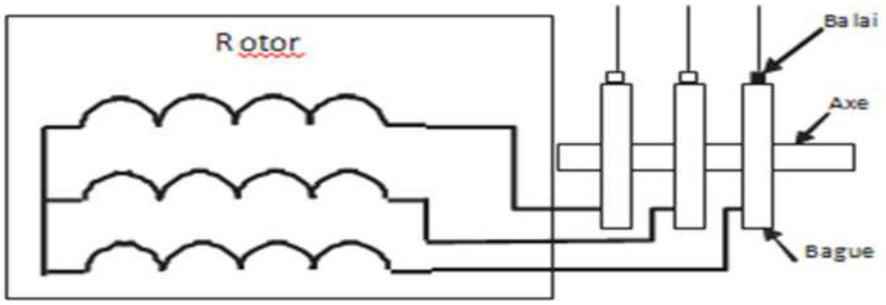


Figure III.13 : Structure du rotor de la **MADA**.

III.6.5.2.Modes de fonctionnement de la MADA

La machine asynchrone classique fonctionne en moteur en dessous de la vitesse de synchronisme et ne peut fonctionner en génératrice qu'au-dessus de celle-ci. Par contre, la **MADA** offre la possibilité de fonctionner dans les quatre quadrants **(Figure III.14)**. C'est-à-dire que ce n'est plus la vitesse de rotation qui définit le mode de fonctionnement en moteur ou en générateur.

Lors du fonctionnement de la **MADA** en moteur, la puissance P_s est fournie par le réseau au stator de cette dernière. Durant le mode hypo-synchrone **(Figure III.14.a)**, où la vitesse de rotation est inférieure à celle du synchronisme, la puissance de glissement P_r transite à travers les deux convertisseurs pour être réinjectée au réseau. Pendant le mode hyper-synchrone (**Figure III.14.b)**, le réseau fournit la puissance au stator et au rotor de la **MADA**.

La puissance de glissement transite par les deux convertisseurs pour être absorbée par le rotor de la **MADA** entrainant par ceci un fonctionnement du moteur au-dessus de la vitesse de synchronisme et le champ tournant induit par les enroulements rotoriques est alors en opposition de phase avec celui du stator.

Les quadrants 3 et 4 sont intéressants pour une utilisation dans un système éolien. Lorsque la **MADA** fonctionne en génératrice, la turbine fournit une puissance mécanique P_m à la machine. En mode hypo-synchrone **(Figure III .14.c)**, une partie de la puissance transitant par le stator est réabsorbée par le rotor. Par contre, en mode hyper-synchrone **(Figure III .14.d)**, la totalité de la puissance mécanique fournie à la machine est transmise au réseau aux pertes près. Une partie de cette puissance a $\frac{s}{s+1} P_m$ est transmise par l'intermédiaire du rotor.

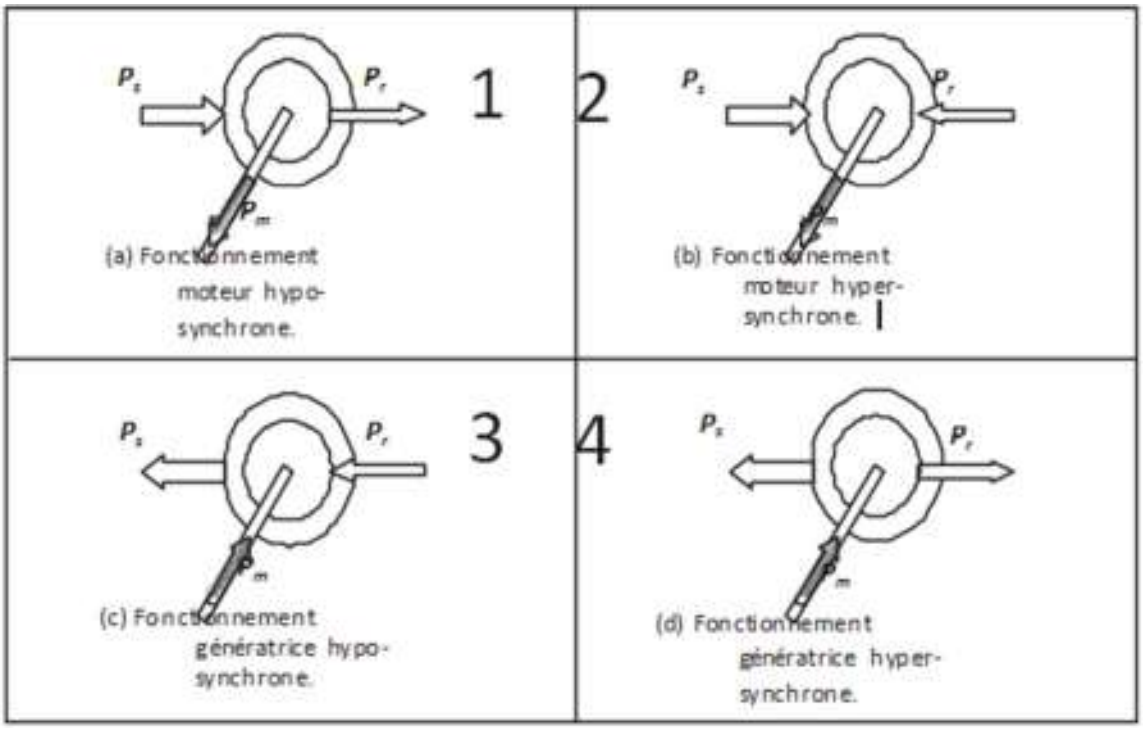


Figure III. 14 : Modes de fonctionnement de la **MADA**.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit en premier lieu les types des aérogénérateurs ainsi que les différents constituants d'un aérogénérateur à vitesse variable. Ensuite, nous avons présenté les deux technologies des éoliennes à savoir les éoliennes à vitesse fixe et celles à vitesse variable. Deux technologies d'éoliennes de grande puissance les plus couramment installées, ont été exposées en soulignant leurs capacités de réglage de la puissance générée. La première porte sur l'utilisation des machines commandée par le stator à savoir la machine asynchrone à cage et synchrone à aimant permanent. Une interface d'électronique de puissance, constituée de deux convertisseurs statiques, est utilisée. Ces derniers sont dimensionnés dans ce cas pour transiter la pleine puissance produite par l'éolienne. Un intérêt particulier a été consacré à la technologie d'éoliennes basée sur la machine asynchrone à double alimentation. Cette technologie permet de réduire le dimensionnement des convertisseurs statiques à 30 % en véhiculant seulement la puissance de glissement. En outre, elle permet un réglage de la puissance réactive.

Les convertisseurs utilisés pour les éoliennes de grande puissance ont été aussi énumérés dans ce chapitre en soulignant l'intérêt particulier d'utiliser les convertisseurs multi-niveaux pour la conversion éolienne.

La dernière partie de ce chapitre a décrit les deux modes de connexion des éoliennes pour former une ferme en se focalisant sur les contraintes et les réglementations définissant les modalités de connexion de ces fermes au réseau électrique.

Chapitre IV

Dimensionnement et simulation

IV.1 INTRODUCTION :

Les systèmes hybrides utilisent différentes sources d'énergies comme l'éolien, le photovoltaïque et le générateur diesel. Ce type de système peut représenter une solution pour les régions éloignées d'un grand réseau interconnecté. Cependant le dimensionnement et l'architecture de système de génération d'énergie est une étape primordial dans la conception et la réalisation de même système, ce qui n'est pas bien traduisez dans la littérature. Plusieurs études prennent le paramètre variable de la plupart des énergies renouvelables pour la réalisation d'un système de contrôle complexe. Dans la même tache un contrôle de la tension et de la fréquence pour un système éolien-diesel est montré dans l'article. La modélisation étant aussi un facteur majeur pour des études élaborées afin de simuler un bon fonctionnement de système. Plusieurs sont les logiciels qui nous permettent de la faire. Dans une modélisation d'un système hybride de génération d'énergie est présentée par le logiciel HOMER. Dans, une modélisation et simulation de différents systèmes hybrides ont été présentées sur l'outil MATLAB.

Pour but d'améliorer la qualité de l'énergie produite par un système de production d'énergie électrique, un système hybride est proposée dans ce chapitre. Une application d'un système hybride est simulée sur le logiciel HOMER afin d'alimenter un site situé à une région de la ville de Bou-Saada, pour une optimisation qui permet de déterminer le type du système hybride réel a installé. Des résultats de simulations sous Matlab/Simulink seront présentés pour confirmer le bon fonctionnement de système afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

IV.2 PRESENTATION DE LA CONFIGURATION CHOISIE :

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,
- Enfin, rechercher la configuration optimale, c'est-à-dire le coût de production minimal.

La configuration du SEH dépend évidemment des ressources énergétiques disponibles ainsi que des contraintes de l'utilisation. Ceci requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site. Pour créer une base de référence pour notre étude nous avons choisi d'adopter des données disponibles et accessibles (NASA), Les

données satellite mondiales de la NASA .Disponible sur le site Web« NASA Surface meteorology and Solar Energy Data Set »[17].

VI.2.1 Méthodologie adoptée :

La méthode adoptée pour le dimensionnement du système hybride s'effectue comme suit :

1. description de site étudie et leur profil de consommation d'énergie électrique représentatif du site (isolé) et profile de sources.
2. Choix de l'éolienne.
3. Détermination de la taille du générateur diesel.

VI.2.2 Présentation du site et caractéristiques de la charge

VI.2.2.1 L'emplacement choisit :

L'objectif de cette étude est de choisir un village dans une région dans l'Algérie pour étudier la faisabilité de l'utilisation d'un système hybride de génération d'énergie pour alimenter des maisons tout au long de l'année. La ville choisit pour l'étude était Bou-Saada Située dans le milieu de l'Algérie dans l'altitude 35.5°17.3'N et longitude 4.5°15.5 E.

Afin de construire ce système d'énergie, on doit disposer tous les informations pour l'emplacement sélectionné. Les informations typiques sont : le profil de charge qui devrait être pris en charge par le système, le rayonnement solaire pour les panneaux solaires, la vitesse du vent pour la production d'énergie éolienne, le coût initial de chaque composant (diesel, générateurs d'énergies renouvelables, batteries, convertisseurs), le coût du carburant et la durée de vie du projet.

Ensuite, on utilisant ces données, on peut effectuer la simulation pour obtenir la meilleure configuration du système d'alimentation hybride pour cet endroit précis.

VI.2.2.2 L'emplacement du système hybride

Pour cette étude, une localisation géographique est considérée : Bou-Saada, situe au sud de la wilaya de M'sila.

Coordonnées du site :

- Latitude : 35.5 degrés Nord,

- Longitude : 4.5 degrés Est,

- Temps : GMT + 1:00.

Ce système autonome doit permettre d'alimenter une communauté de 40 maisons.

VI.2.2.3 Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la demande :

Le dimensionnent d'un tel système de production de l'énergie dépend essentiellement du profil de la consommation à satisfaire. La puissance demandée par un foyer de nature donnée n'est pas figée le long de l'année. L'heure de sollicitation maximale du système énergétique par la charge varie en fonction des saisons conséquence à la variation de la durée du jour.

Les besoins énergétiques du site à alimenter se décomposent en deux types de charges électrique : c'est l'énergie électrique consommée directement par les utilisateurs et l'énergie perdu dans le réseau.

Dans notre cas d'étude l'application est hors réseau, le but de SEH est d'alimenter en énergie une charge triphasée, la charge électrique est en courant alternatif (CA).

VI.2.2.4 Chargement primaire :

C'est une description de la demande d'électricité du site. Elle inclue l'éclairage, le chauffage et le fonctionnement des appareils électriques (réfrigération, ordinateurs, téléviseurs, électroménager …). Le site compte 20 Maisons, avec une consommation estimée à 6.24 kWh/j et par maison, ce qui donne une consommation journalière de 124.8 kWh/j, ce qui donne une puissance moyenne journalière de 5.2 kW, qui n'est pas constante durant toute la journée.

La distribution journalière de cette charge est représentée par les diagrammes ci-dessous :

Heures	Charge [kW]	Heures	Charge [kW]
00 :00 – 01 :00	4,4	12 :00 – 13 :00	5,1
01 :00 – 02 :00	4,1	13 :00 – 14 :00	5,2
02 :00 – 03 :00	3,8	14 :00 – 15 :00	5,1
03 :00 – 04 :00	3,5	15 :00 – 16 :00	4,8
04 :00 – 05 :00	3,4	16 :00 – 17 :00	5,2
05 :00 – 06 :00	3,6	17 :00 – 18 :00	5,4
06 :00 – 07 :00	4,3	18 :00 – 19 :00	6,3
07 :00 – 08 :00	5,1	19 :00 – 20 :00	7,5
08 :00 – 09 :00	5	20 :00 – 21 :00	8
09 :00 – 10 :00	4,9	21 :00 – 22 :00	7,6
10 :00 – 11 :00	5,1	22 :00 – 23 :00	6,1
11 :00 – 12 :00	5,4	23 :00 – 00 :00	5,4

Tableau VI.1 : Répartition journalière de la charge électrique.

Le profil de charge à alimenter en électricité est illustré dans la VI.1 Il s'agit d'une

charge avec une valeur moyenne journalière de 124.8 kWh/j et un pic de puissance instantanée de 8 KW.

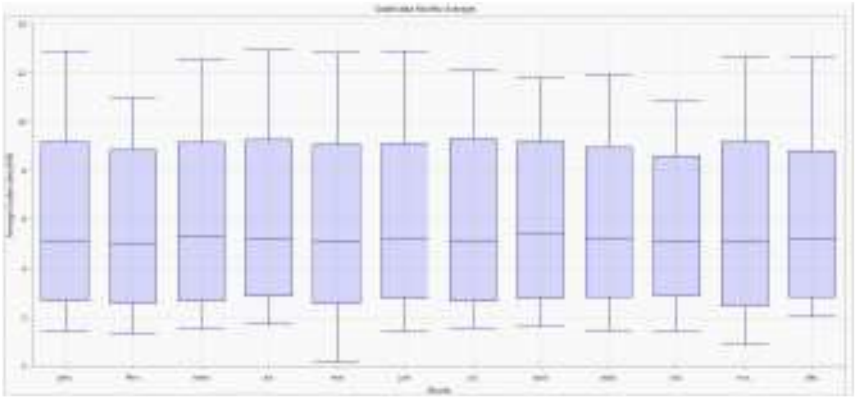


Figure VI.1 : Répartition annuelle de la charge électrique

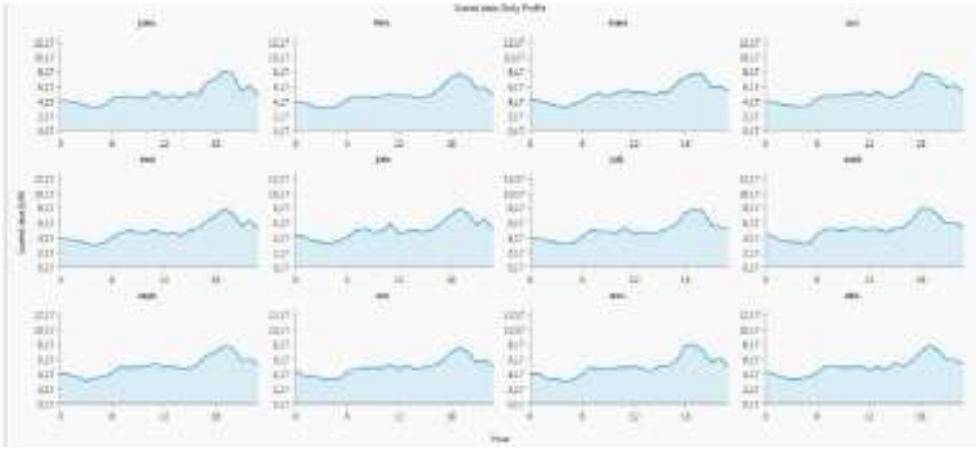


Figure VI.2 : Répartition journalière de la charge électrique.

On remarque que le profil de consommation a généralement la même tendance d'évolution journalière. Il y a un creux de consommation la nuit entre 0h et 7h et un pic de consommation, le soir entre 20h et 21h.

Ces informations restent très difficiles à exploiter car le profil de consommation est aussi variable selon les saisons.

VI 2.3 Potentiel éolien :

Pour évaluer le potentiel éolien du site, des mesures de vitesse moyenne du vent ont été prises sur site durant les 10 années 2005-2015, avec un intervalle de 1 heure (24 mesures par jour).

Etant donné que le potentiel de puissance éolienne est à peu près proportionnel au cube de la vitesse du vent. Il faudrait donc raffiner l'information sur la vitesse du vent en fonction du degré de précision requis.

Les vitesses mensuelles moyennes calculées à base des données de mesures, sont illustrées sur le tableau ci-dessous :

Lat 35 Lon 4	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
10-year Average	**3.65**	**3.74**	**3.74**	**3.91**	**3.50**	**3.54**	**3.59**	**3.35**	**3.21**	**3.33**	**3.62**	**3.71**

Tableau VI.2 : Variations mensuelles de la vitesse moyenne de vent à 10 m

VI.3 Dimensionnement des sources :

Pour le raison que la vitesse du vent est faible, nous avons choisis dans notre étude un niveau de pénétration faible. Donc :

- GD fonction sans arrêt (source principale), il faut qu'il alimente la charge maximale
- La production renouvelable réduit la charge du diesel
- l'énergie éolienne alimente la charge principale
- il n'y a pas de système de supervision
- le système de stockage est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à court terme pour cela nous n'avons pas l'étudié dans notre exemple.

VI.3.1 choix d'éolienne :

L'éolienne choisis a les caractéristiques suivantes :

- Puissance nominal : 1500 KW à vitesse de vent de 6 m/s

-Tension : 1200 Vdc configurable.

- Vitesse de démarrage : 2 m/s

- Vitesse du vent maximale : 12 m/s

VI.3.2 choix de générateur diesel :

En vue du caractère non régulier des ressources renouvelables, un générateur diesel est nécessaire comme une source principale. Le générateur développe une puissance maximale de 4100 kVA pour satisfaire un pic de charge de 3700 kVA.

IV.4 APPLICATION DU LOGICIEL HOMER POUR L'OPTIMIZATION :

IV.4.1 Présentation de l'outil de simulation :

Le logiciel HOMER (hybrid optimization model for electric renewables) développé par NREL (national renewable energy laboratory) aux êtas unis, prend en charge l'opération d'évaluation des conceptions des différentes systèmes de génération d'énergie électrique, que ce soit connecter à un réseau électrique classique ou bien éloigné de ce dernier pour une variété d'applications. Il permet d'analyser et de combiner divers sources d'énergie afin d'arriver à afficher une configuration optimale d'un système hybride capable de fournir de l'énergie au site spécifié d'une manière faisable selon certains critères techniques et économiques.

Pour simuler un système hybride de génération d'énergie, il faut définir tous les éléments de ce dernier, en utilisant les composants définis dans la bibliothèque du logiciel comme les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les groupes électrogènes et les convertisseurs statiques etc. S'il est nécessaire d'ajouter un composant qui n'existe pas dans la liste des éléments définit par défaut, le logiciel nous permet de l'ajouter en introduisant toutes ces caractéristiques techniques ainsi que son coût. On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans la bibliothèque.

Toujours HOMER, simule le fonctionnement d'un système en faisant des calculs de bilan d'énergie à chaque heure pour chacun des 8760 heures dans une année. Il trouve la combinaison la moins coûteuse qui répond aux charges électriques et thermiques spécifiques. HOMER simule plusieurs configurations, il optimise le coût pour un cycle de vie donné et génère des résultats de sensibilité pour la plupart des situations.

Ainsi il permet d'effectuer des analyses et de répondre aux nombreuses questions de conception tels que:

- Quelles technologies sont les plus rentables ?
- Quelle est la taille des composants de système hybride ?
- Que deviennent-ils les aspects économiques du projet si les coûts ou charges changent?
- Es-que les sources d'énergie renouvelables peuvent fournir l'énergie nécessaire ?

IV.4.2 Construction de système hybride de génération d'énergie :

Charge : valeur moyenne : 124.8 Kwh/j.

Vitesse du vent, valeur moyenne : 5,14 m/s.

Le prix de carburant avec leur transport : 22 DA/L.

Pic de puissance : 8 KW.

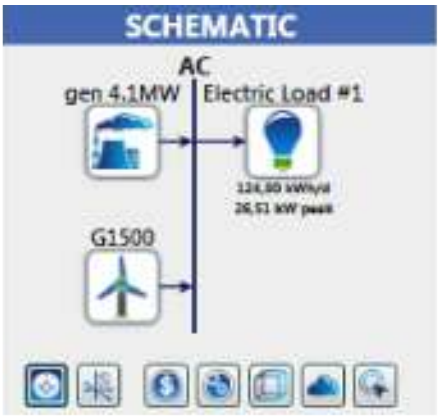


Figure IV.3 : Architecture du SEH

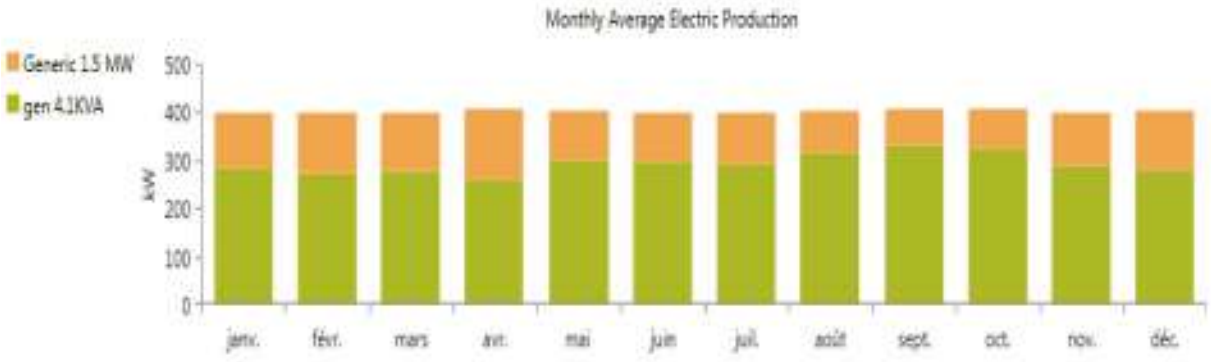


Figure IV.4 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	45 552	100,00
DC Primary Load	0	0,00
Total	45 552	100,00

Figure IV.5 : Energie annuelle produite

Production	kWh/yr	%
gen 4.1MW	2 570 000	73,23
Generic 1.5 MW	939 621	26,77
Total	3 509 621	100,00

Figure IV.6 : Energie annuelle consommée

IV.5 Interprétation des résultats :

Le réseau étudié comporte un groupe diesel, une éolienne et une charge. Le groupe diesel qui est éloigné de 10 km, alimente la charge à travers un transformateur élévateur de tension, et l'éolienne qui est éloigné de 10 km de la charge, alimente la charge à travers une ligne et un transformateur élévateur. Les paramètres des transformateurs et de la ligne sont donnés dans l'annexe.

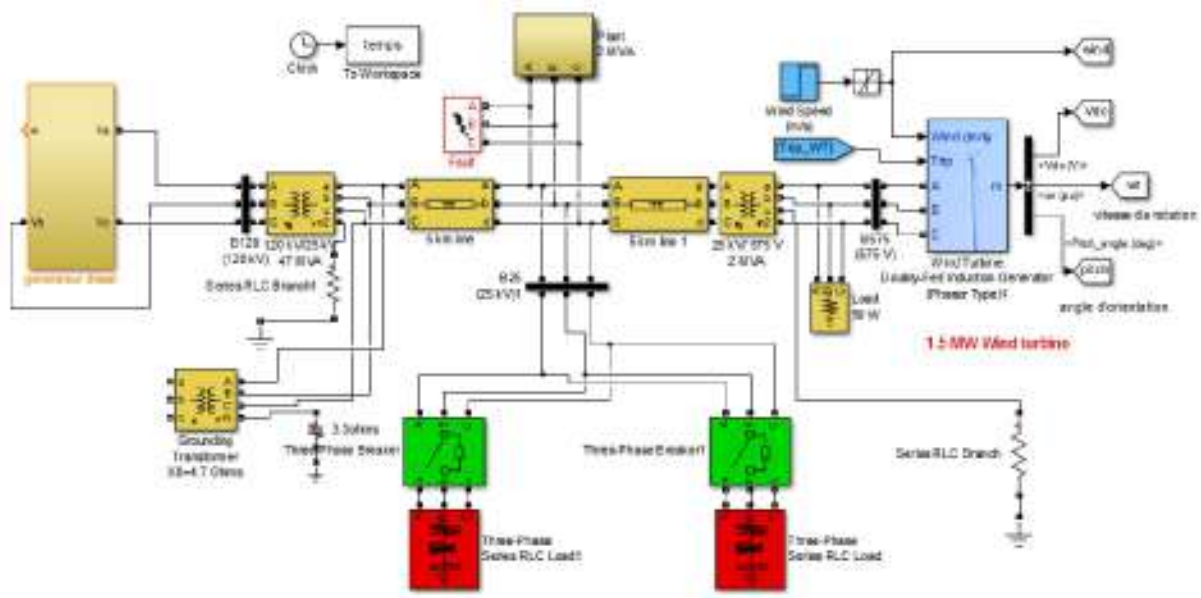


Figure IV.7 : Schéma de Système globale

IV.5.1 Analyse du comportement dynamique du SEH :

Dans cette section, nous allons analyser d'abord le comportement dynamique du SEH.

La simulation est faite en trois parties :

1- variation climatique (vent).

2- variation de la charge.

3- démarrage brusque de l'éolienne

Le but de cette simulation est d'étudié l'effet de l'intégration d'une éolienne sur le réseau

isolé électrique, on étudiant la stabilité en fréquence et en tension et la variation en puissances (active et réactive).

IV.5.1.1 Variation climatique (vent) :

La première simulation consiste à fixer la valeur de charge à une puissance de 3.5MW, facteur de puissance 0.8, puis on va varier la vitesse du vent.

Paramètres de simulation : temps de simulation 50s, vitesse initiale du vent 4m/s, vitesse finale du vent 6m/s et le instant de variation 20s.

Etude de la puissance active Figure IV.8 :

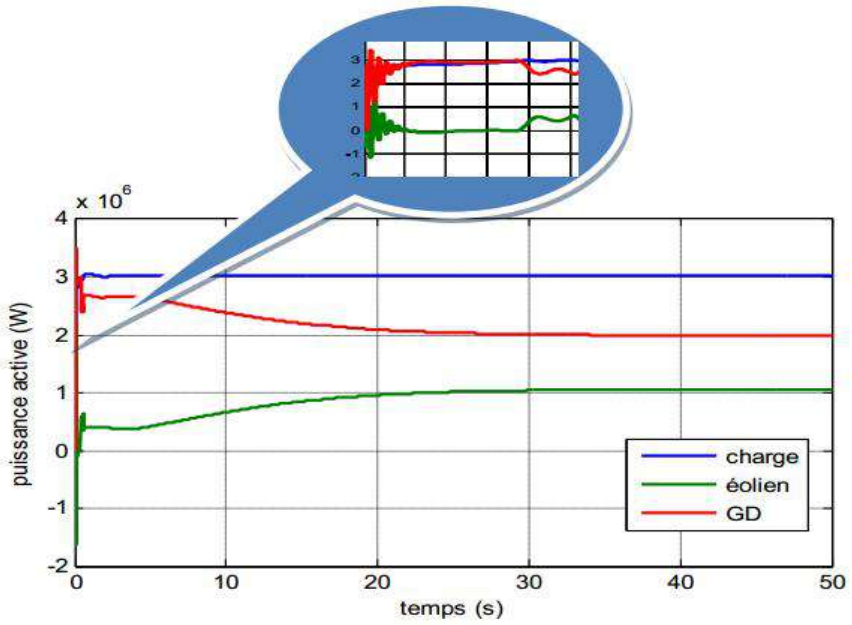


Figure IV.8 : La puissance active

Nous avons applique à notre éolienne une vitesse du vent de 4 m/s à partir du temps 0s, et en à augmenter la vitesse du vent à 6 m/s à partir du temps 20s.

On remarque par période :

Dans la période [0s, 0.4s] :

- L'éolien est en arrêt et le groupe diesel fourni seul la puissance active à la charge.

La charge consomme la puissance active produit des deux machines (MS, MAS)

Dans la période [0.4s, 20s] :

- la puissance active de la charge est stable.
- La puissance active d'éolienne et de groupe diesel sont stables parce que n'est pas de variation du vent.

Dans la période [20s, 40 s] :

- La puissance active de l'éolienne augmente à cause de la variation de vitesse du vent du 4 m/s au 6 m/s, cette variation suit la courbe de cheminement de la turbine éolienne.

- La puissance active de groupe diesel diminue, elle complète le reste de puissance demandé par la charge. Donc, il y a une relation complémentaire entre la puissance active d'éolienne et celle de groupe diesel dans système hybride.

Dans la période [40 s, 50 s] :

- Les puissances actives d'éolienne et de groupe diesel sont stables parce que n'est pas de variation du vent.

Etude de la puissance réactive Figure IV.9 :

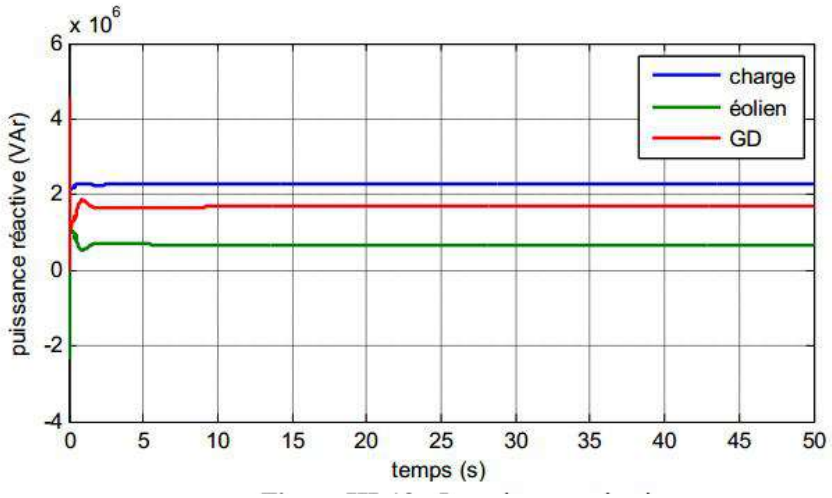


Figure IV.9 : La puissance réactive

Dans la période [0s, 0.4s] : démarrage de l'éolienne

- Au cours de démarrage, l'éolienne consomme une puissance réactive. Le diesel fourni la totalité de la puissance réactive de la charge et de l'éolienne.

Dans la période [0.4 s, 50 s]:

- Les puissances réactives de groupe diesel et d'éolienne sont stables. L'éolienne injecte au réseau une puissance réactive.

Etude de la fréquence Figure IV.10 :

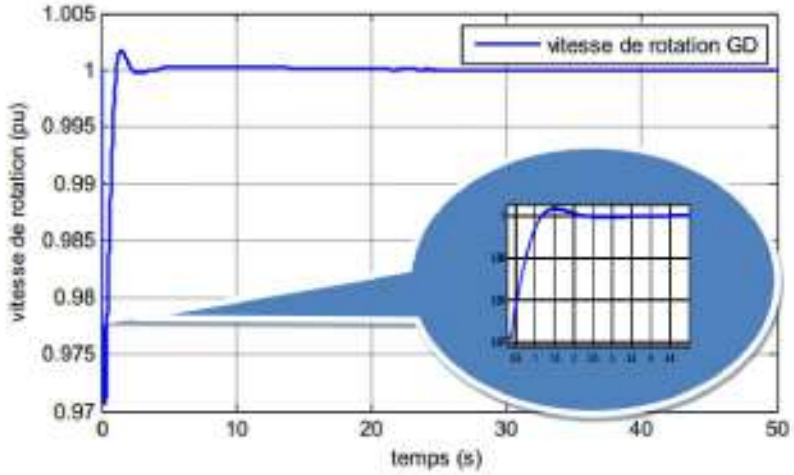


Figure IV.10 : La vitesse de rotation du GD

Dans la période [0s, 0.4s] :

- On remarque une petite variation (-3% à 0.2%) de fréquence à cause de démarrage de groupe diesel

Dans la période [0.4 s, 50s] :

- Une stabilisation de la vitesse de groupe diesel (c'est à dire une stabilisation dans la fréquence) malgré il y a une variation du vent.

Etude de la tension Figure IV.11 :

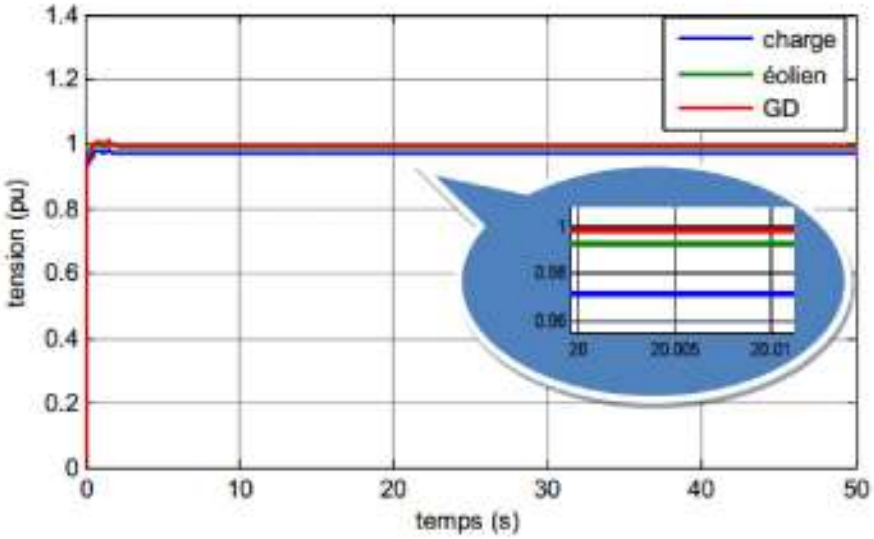


Figure IV.11 : Les tensions

Dans la période [0s, 0.4s] :

- On remarque une augmentation de tension de groupe diesel à cause de démarrage de

groupe diesel

Dans la période [0.4 s, 20s]:

- Une stabilisation de les tensions de groupe diesel et de l'éolien

Dans la période [20s]:

- On remarque une petite variation dans les tensions à cause de variation dans la charge.

Dans la période [20 s, 50s]:

- Les tensions roture un régime stable à cause de n'est pas de variation dans la charge.

III-6.1.2. Variation de la charge :

Pour voire l'effet de variation de la charge, Nous simulons notre réseaux une charge principale de 3.2MVA et place une charge secondaire de 0.8MVA avec un facteur de puissance 0.8 dans les deux charges. Puis dans l'instant 20s, on débranche la charge secondaire (diminution de 20%).

Etude de la puissance active Figure IV.12 :

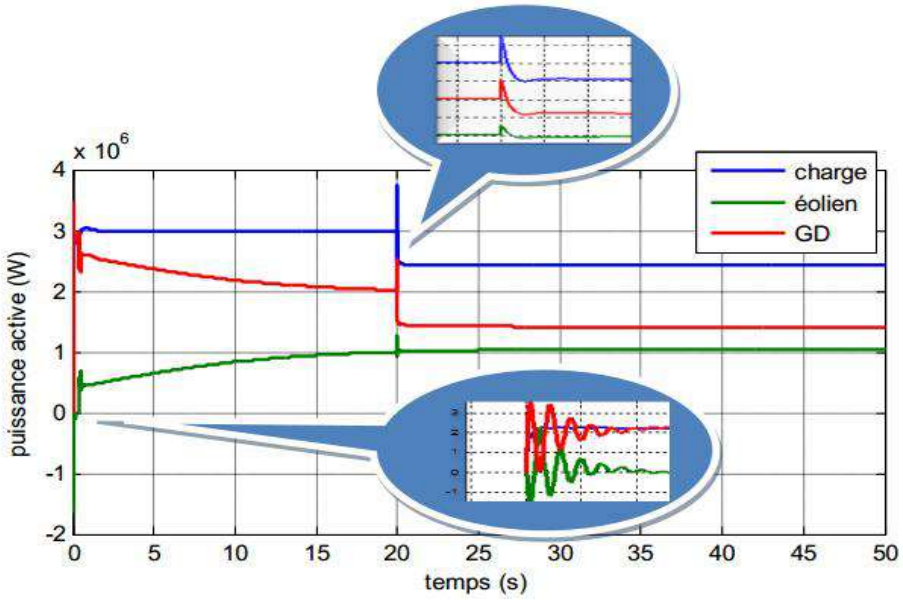


Figure IV.12 : La puissance active

Toujours le groupe diesel complète la puissance active demandé par la charge et il agit seul avec la fluctuation de cette charge si la vitesse du vent est stable (puissance de l'éolienne

Stable).

IV.7 CONCLUSION :

Dans ce chapitre une brève description d'un système hybride de génération de l'énergie électrique est réalisée, les principales notions liées au type d'architecture de système ont été aussi présentés. Deux applications d'un système hybride ont été élaborées, une première sur l'environnement HOMER pour une optimisation d'un système hybride au site de la ville de Bou-Saada, ou les données métrologiques comme le rayonnement solaire et la vitesse du vent sont disponibles, un deuxième sous l'interface Simulink / Matlab pour un système hybride éolien diesel. D'après les résultats, on remarque que la combinaison des sources d'énergie renouvelables dans la présence d'une source classique d'origine fossile à un avantage remarquable dans la diminution de l'utilisation de cette dernière, afin de diminuer l'émission de gaz à effet de serre, en plus la diversité des ressources énergétiques que présente un système hybride, la continuité et la disponibilité de la production d'énergie électrique est assurée.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Le but du travail présenté dans ce mémoire, est l'étude des systèmes hybrides de génération de l'énergie électrique pour l'alimentation des sites isolés, avec comme objectif de maintenir un niveau de fiabilité élevé avec un coût minimal grâce à un dimensionnement optimal de systèmes hybrides afin de réduire les emmenions des gaz à effets serre.

Dans le premier chapitre on a dressé un rappel sur les différents types des énergies renouvelables suivi par un état de l'art sur les systèmes hybrides de génération d'énergie électrique ainsi que les différents éléments qui les construisent.

Dans le deuxième chapitre on a présenté la modélisation du groupe diesel pour une vitesse constante, en tenant compte du moteur diesel et la génératrice synchrone à aimant permanent. Des simulations numériques sur Matlab/Simulink du groupe diesel qui alimente une charge variable ont été présentées.

Par la suite on a consacré le troisième chapitre à l'étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne, avec une description des différents types des générateurs électriques utilisés dans un système de conversion éolien, pour notre chaine de conversion on a choisi la génératrice asynchrone à cage d'écureuil grâce à ces avantages par rapport aux autres types de machines. Le modèle de la chaine de conversion éolienne a été implanté sous l'environnement Matlab/Simulink, afin d'étaler le bon fonctionnement du système aux variations des contraintes métrologiques.

L'étude de générateur photovoltaïque a été présentée dans le quatrième chapitre. Dans la première partie, nous avons présenté les différentes architectures des cellules photovoltaïques et leur implantation dans la construction des panneaux. Dans la deuxième partie nous avons approché à une modélisation et des simulations numériques des panneaux photovoltaïques dans le cadre d'étude de l'influence de l'éclairement, la température et les paramètres internes sur le fonctionnement des cellules.

Dans le dernier chapitre nous avons présenté une étude de simulation pour un système hybride éolien diesel photovoltaïque avec la présence des batteries et des

convertisseurs, pour l'alimentation d'une charge donnée dans un concept autonome. La simulation est faite par le logiciel HOMER, qui nous permet de traiter des résultats réels basés sur des contraintes de coût et de variations d'entrées métrologiques d'un site situé dans l'environnement de la ville de Bou Saada. Les résultats obtenues favorisent la production éolienne dans ce site isolé, et permet de nous donner l'avantage d'étudier profondément le fonctionnement d'un système éolien-diesel qui satisfaire nos besoins de l'énergie dans les régions éloignées de ville Bou-Saada par le Logiciel Matlab/Simulink.

D'une manière générale le travail présenté dans ce mémoire nous a permet de montrer l'intérêt que suscitent les énergies renouvelables dans notre pays l'Algérie. Néanmoins, tous ces résultats n'excluent pas des améliorations qui peuvent être apportées dans le futur de notre travail. Il s'agit en fait des points suivants :

- L'étude des commandes avancées pour l'implantation des systèmes hybrides afin d'améliorer la qualité d'énergie.
- Développement et mise en œuvre d'un banc d'essai d'un système hybride éolien-diesel-PV avec des Systèmes de stockages.
- Une intégration d'un système hybride éolien- diesel- photovoltaïque dans notre ville de Bou-Saada avec le suivi du point de puissance maximale (MPPT : Maximum Power Point Tracking).

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] M.Lopez, ‘‘Contribution à l'Optimisation d'un Système de Conversion Eolien Pour une Unité de Production Isolée ’’, Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, 2008.

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

[3] 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.

[4] 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.

[5] D. Rekioua, Z. Roumila and T. Rekioua, " *Etude d'une centrale Hybride Photovoltaïque - Eolien - Diesel* " Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, pp. 623-633, 2008.

[6] 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.

[7] W.D. Kellogg, M.H. Nehrir, G. Venkataramanan and V. Gerez, " *Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind PV Systems*", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998.

[8] 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.

[9] 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.

[10] I. Vechiu, " *Modélisation et Analyse de l'Intégration de des Energies Renouvelables Dans un Réseau Autonome* ", Thèse de Doctorat, Université de Havre, Année 2005.

[11] T. Jacob et Arun, " *Modeling of Hybrid Wind and Photovoltaic Energy System using a New Converter Topology* ", Electrical and Electronics Engineering: An International Journal Vol.1, No.2, August 2012.

[12] 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.

[13] B. Tounsi, " *Etude comparative de Groupes Electrogènes embarqués à large gamme de vitesse variable associant Machines à Aimants Permanents et conversion statique* ", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique Toulouse, 2007.

[14] H. Wei, R. Min and T. Yingqi, " *A Fuzzy Control System of Diesel Generator Speed* ", University Zhuhai.

[15] M. Khov, " *Surveillance et Diagnostic des Machines Synchrones à Aimants Permanents : Détection de court-circuit par suivi paramétrique* ", Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Décembre 2009.

[16] 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.

[17] https://eosweb.larc.nasa.gov

[18] Y. Hu and M. McCormick, ‘‘ A FPGA Based Fast DC Link Voltage Controller for Stand-Alone Diesel Engine Driven Generator Systems ’’, IEEE 28th Annual Conference, vol.3, pp. 1966-1971, 2002.

[19] Le ministère de l’Energie et des Mines‘‘ Programme des énergies renouvelables et de l’efficacité énergétique ’’, Algérie, Mars 2011.

[20] .Tarak GHENNAM, «Supervision d’une ferme éolienne pour son intégration dans la gestion d’un réseau électrique,Apports des convertisseurs multi niveaux au réglage des éoliennes à base de machine asynchrone à double alimentation », Thèse de Doctorat de Ecole Militaire Polytechnique d’Alger Ecole Centrale de Lille 29/09/2011

[21] S. Khojet El Khil, « Commande vectorielle d'une Machine Asynchrone Doublement Alimentée (MADA) », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse & école Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 2006.

[22] S. El Aimani, '' Modélisation de différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension'', *Thèse de doctorat de l'école centrale de Lille*, 06-12-2004.

[23] A. Ahmidi "Participation de parcs de production éolienne au réglage de la tension et de la puissance réactive dans les réseaux électriques", *Thèse de doctorat en génie électrique de l'Ecole Centrale de Lille*, pp. 1-200, 2010

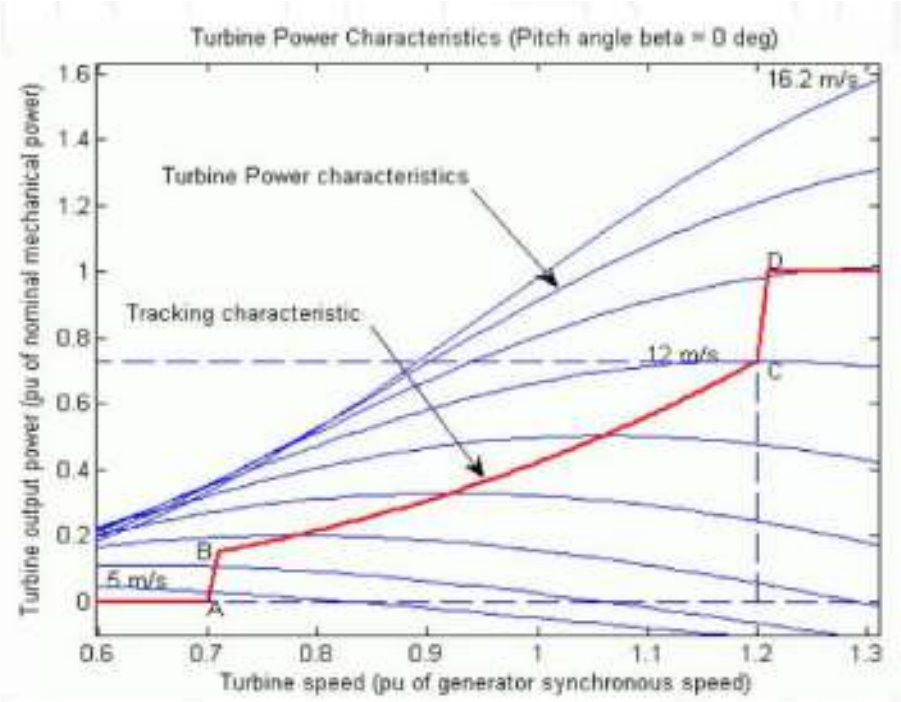
[24] Site de constructeur Danois, http://www.wind power .dk/.

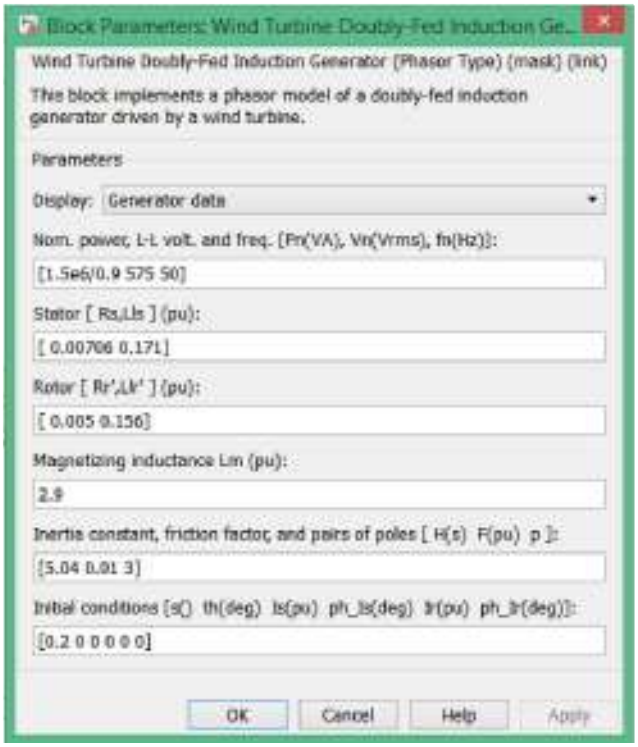
[25] R. Ghosn, «Contrôle vectoriel de la machine asynchrone à rotor bobiné à double alimentation », Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Octobre 2001.

L'ANNEXE 1

1.1 Les paramètres de simulation :

On utilisant ces données, on peut effectuer la simulation pour obtenir la meilleure configuration du système d'alimentation hybride pour cet endroit précis.

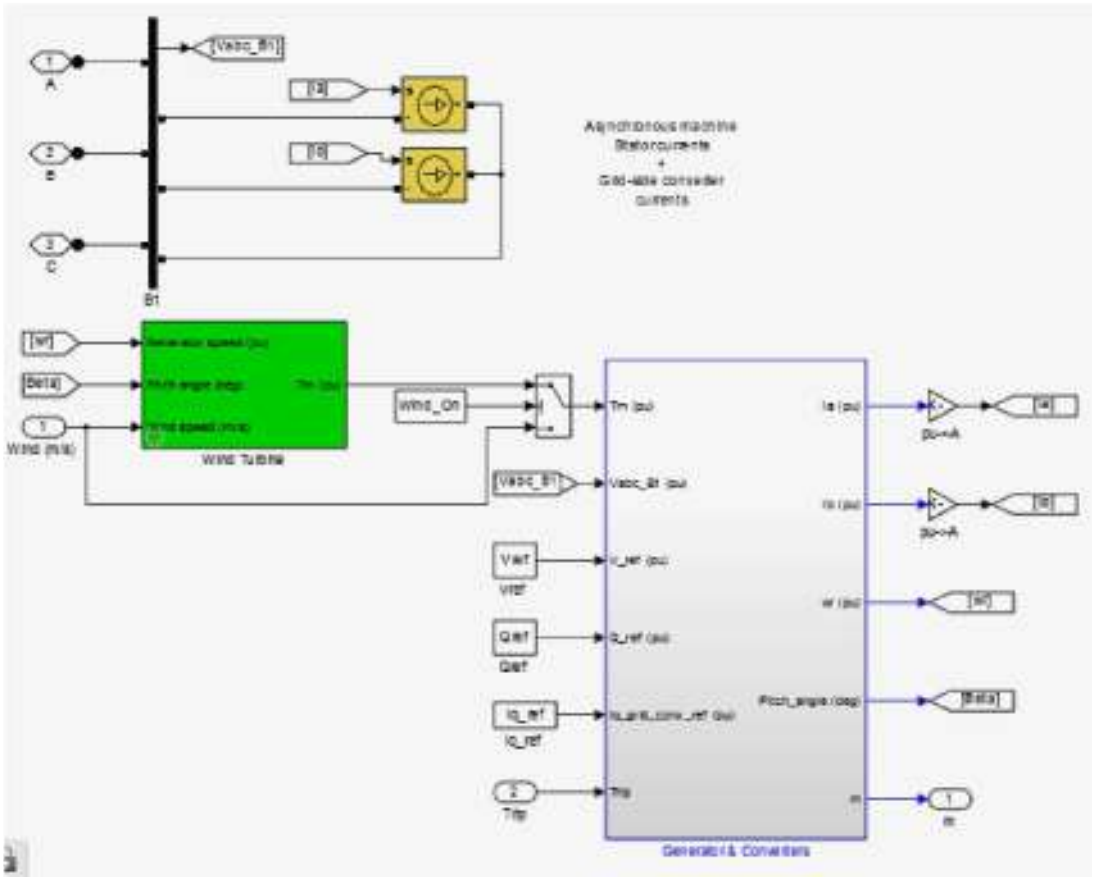




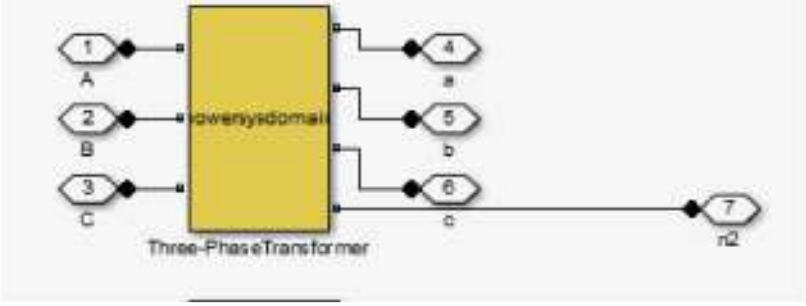


1. **Caractéristique de la Turbine**

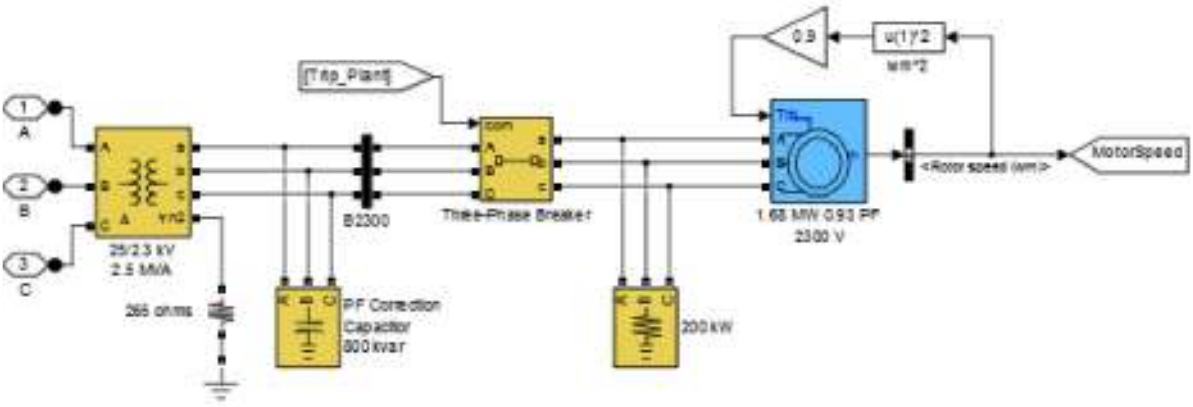
1.2 Les Sous Bloques SIMULINK :

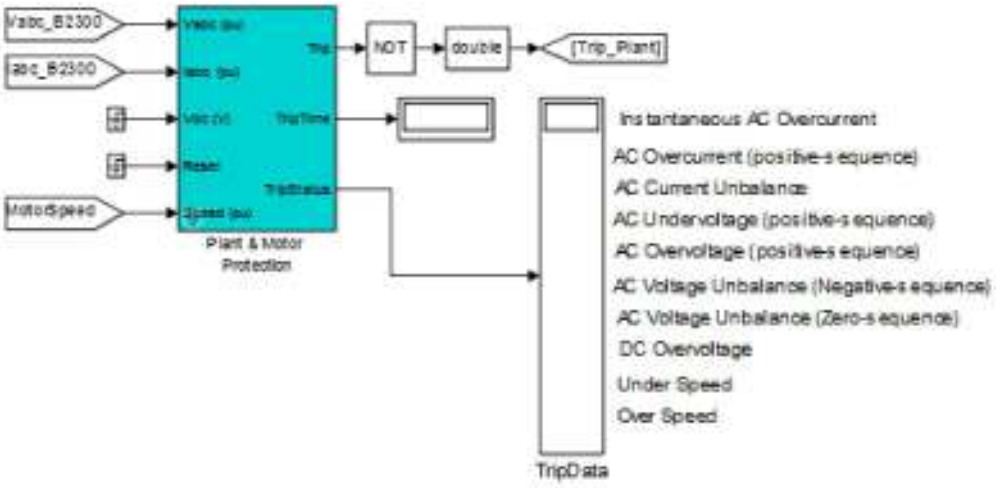


1. **Turbine**



2. Transformateur





3. Charge de secours

L'ANNEXE 2

Considérons tout d'abord un modèle triphasé classique de machine à aimants permanents montés en surface et à rotor lisse. La matrice [Ls] des inductances propres et mutuelles des bobinages statoriques est donc une matrice qui ne dépend pas de la position du rotor. On considère que l'entrefer est constant et on négligera les effets de saturation magnétique**. La figure A.1** illustre la structure de machine synchrone en triphasé.

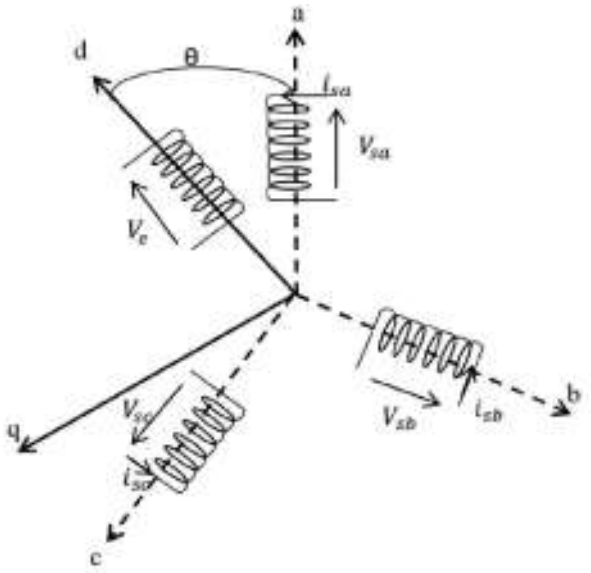


Figure A.1 la structure de machine synchrone en repère triphasé

Les équations électriques des machines électriques dans un repère fixe lié au stator sont décrites par :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = R_s \cdot \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{sa} \\ \phi_{sb} \\ \phi_{sc} \end{bmatrix}$$

$$[\phi_s] = \begin{bmatrix} \phi_{sa} \\ \phi_{sb} \\ \phi_{sc} \end{bmatrix} = [L_s] \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{ra} \\ \phi_{rb} \\ \phi_{rc} \end{bmatrix}$$

$$\frac{d}{dt}[\phi_s] = \frac{d}{dt}[[L_s][I_s] + [\phi_r]] = \frac{d}{dt}[L_s][I_s] + \omega \cdot \frac{d}{d\theta_e}[\phi_r]$$

Avec : Rs :La résistance des phases statoriques.

$[V_{sa} \quad V_{sb} \quad V_{sc}]^T$ Les tensions des phases statoriques.

$[I_{sa} \quad I_{sb} \quad I_{sc}]^T$ Les courants des phases statoriques.

$[\phi_{sa} \quad \phi_{sb} \quad \phi_{sc}]^T$ Les flux totaux à travers les bobines statoriques.

L'ANNEXE 3

3.1 Grandeurs nominales :

- Tension nominale : ***230/400 V***
- Puissance nominale du MS : 4.1 MVA
- Puissance nominale du MAS ***1.5 MW***
- Fréquence : ***50 Hz***
- Nombres de paires de poles : ***2***

3.2 Paramètres de la machine asynchrone : les grandeurs sont en PU

Résistance statorique (R_s)	***0.016***
Résistance rotorique (R_r)	***0.016***
Inductance cyclique au stator (L_s)	***0.06***
Inductance cyclique au rotor (L_r)	***0.06***
Inductance mutuelle (L_m)	***3.5***
Pair de pôles	***2***

3.3 Paramètres de la machine synchrone : les grandeurs sont en PU :

Résistance statorique (R_s)	**0.0036**
Réactance X_d, X_d', X_d''	**1.56, 0.296, 0.177**
Réactance X_q, X_q'	**1.06, 0.177**
Réactance X_l	**0.052**
Pair de pôles	**2**