

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA-
ADRAR

Faculté des Sciences et de la
Technologie

Département des Sciences de la
Matière



جامعة أدرار-أدرار

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم علوم المادة

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en Physique

Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Thème

*Modélisation Energétique et Optimisation Economique d'un
Système de Production Eolien dans la Région D'Adrar*

Présenté Par :

Melle. Abbas Razika

Melle. Errahmani Meriam

Devant le jury composé de :

Dr. Bouchouicha Kada

Président

URERMS-Adrar

Dr. Harrouz Abdelkader

Encadreur

Université Ahmed Draia -Adrar

Dr. Saidi Ahmed

Examineur

Laboratoire LDDI, Adrar

Dr. Belatrache Djamel

Co- Encadreur

Laboratoire LDDI, Adrar

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Au nom de Dieu le Miséricordieux. Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a permis de mener à bien cet humble travail et grâce à lui et son succès nous en sommes arrivés là où nous en sommes maintenant. Louange à Dieu Tout-Puissant et à ses remerciements, et que les prières et la paix soient sur notre Prophète Muhammad, le sceau du plus honorable des prophètes et messagers. Merci à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien de près ou de loin, et même avec un mot gentil, nous adressons nos remerciements et notre appréciation à notre professeur qui a supervisé ce travail, **Dr.** « Harrouz Abdelkader », à qui nous tenons à exprimer notre gratitude pour sa patience, ses conseils, son évaluation, sa patience avec nous et ses encouragements pour nous tout au long de notre cheminement avec ce résumé et pour notre professeur L'honorable **Dr.** « Djamel Belatrache » a partagé avec nous son temps précieux, malgré sa distance, ses préoccupations, et la nature de son travail. Nous remercions également les employés de l'Adrar General Corporation for Electricité and Gaz Distribution, en particulier **Mme.** « NaarFaiza » et **Mr.** « Oumri Lahbib », qui nous ont fourni des informations qui nous ont beaucoup aidés dans notre travail.

Et **Mme. Tahiri Fadila.** Qui était une amie et une sœur et nous a soutenu quand nous avions besoin d'elle, à la merveilleuse amie qui nous a soutenus et ensemble nous sommes arrivés au bout du voyage, notre ami « Chaib Messaouda ». Nous remercions également le comité de discussion d'avoir accepté de discuter et d'évaluer notre travail

Au Département des Sciences de la Matière

Et au groupe que nous avons étudié ensemble.

Razika Et Meriam

Résumé

La production d'énergie électrique à partir des sources dites renouvelables en général et l'énergie éolienne en particulier, ne cesse d'augmenter et devient de plus en plus significative. Actuellement, le problème n'est pas seulement en quantité d'énergie produite à partir d'une source imprévisible mais en sa qualité qui peut être améliorée et optimisée. Chaque système éolien contient trois sous-systèmes principaux qui peuvent être modélisé indépendamment : Turbine (puissance aérodynamique), Convertisseur coté Génératrice (puissance active et réactive) et le convertisseur coté réseau (puissance injectée). Notre objectif dans ce mémoire est de contribuer à l'amélioration et l'optimisation de la qualité d'énergie produite en prendre en considération la vitesse de vent réel dans la région d'Adrar.

Mot clés : éolien ; turbine ; modélisation ; vent

Abstract

The production of Electrical energy from so-called renewable sources in general and wind energy in particular, continues to increase and becomes more and more significant. Currently, the problem is not just how much energy is produced from an unpredictable source but how much can be improved and optimized. Each wind power system contains three main subsystems which can be modelled independently: Turbine (aerodynamic power), Generator side converter (active and reactive power) and the grid side converter (injected power). Our objective in this thesis is to contribute to the improvement and optimization of the quality of energy produced taking into consideration the real wind speed in the Adrar region.

Key words: wind, turbine; modelling; wind speed

المخلص

يستمر إنتاج الطاقة الكهربائية من ما يسمى بالمصادر المتجددة بشكل عام وطاقة الرياح بشكل خاص في الزيادة و يصبح أكثر و أكثر أهمية. في الوقت الحالي، لا تكمن المشكلة فقط في مقدار الطاقة التي يتم إنتاجها من مصدر غير متوقع، و لكن في مقدار الطاقة التي يمكن تحسينها. يحتوي كل نظام لطاقة الرياح على ثلاثة أنظمة فرعية رئيسية يمكن نمذجتها بشكل مستقل: التوربينات (الطاقة الديناميكية الهوائية)، والمحول الجانبي للمولد (الطاقة النشطة والمنفاعلة) والمحول الجانبي للشبكة (الطاقة المحقونة). هدفنا في هذا البحث هو المساهمة في تحسين جودة الطاقة المنتجة مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة الرياح الحقيقية في منطقة أدرار

كلمات مفتاحية: طاقة الرياح توربينات النمذج الرياضي سرعة الرياح

Dédicaces

Louange à Dieu par qui les bonnes actions ont été accomplies, Et que les prières et la paix soient sur notre maître et prophète Muhammad

Je dédie ce modeste travail

A qui en présence de qui je n'avais besoin de rien. Qui m'a rempli de ses conseils et de ses prières Pour l'âme de mon cher père « AbdelKarim » qui nous a quittés à jamais en 2016, et que je souhaite voir présent aujourd'hui. Que Dieu lui fasse miséricorde et nous rassemble dans ses vastes jardins.

A mes yeux qui m'ont nourri d'amour et de tendresse... A celui dont je ne saurais décrire les plumes et les dictionnaires... Au symbole de l'amour et du baume guérisseur... Au cœur blanc qui brille... A celui dont des stylos et des dictionnaires que je ne saurais décrire... ma chère mère « Lala Aicha »

Pour ceux qui attendent chaque jour mes pas... A tous mes **frères** et **sœurs** qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant ces années scolaires.

A tous **mes amis** et collègues, en particulier la sœur dont l'université m'a rapproché et qui m'a soutenu et encouragé à continuer sur la voie, mon amie « Chaïb Messaouda ».

À mon binôme MERIEM

A tous ceux qui, en un mot, m'ont donné la force de continuer...

MERCI à TOUS.

Razika

Dédicaces

Nous avons commencé avec des difficultés, et voici le jour, et louange à Allah, je prolonge la veille de la nuit et la fatigue et les jours, et le résumé de mon voyage entre les couvertures de cet humble travail.

Je dédie ce modeste travail :

AU phare de la connaissance le maître de la création, notre messager, Que la prière et la paix d'Allah soient sur lui, Ames chers parents la fontaine de tendresse qui a tissé mon bonheur à ma chère mère, Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter celle qui m'a accompagné tout au long de ma maladie, à mon cher père je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.

Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

À ceux dont l'amour coule dans mes veines pour mes frères qui nous avons marché ensemble nous ouvrons ensemble la voie vers le succès et créativité.

À mon adorables amis « Chaib Messaouda » et sa sœur « Meriem », qui je partagé avec eux des belle souvenirs.

À tous ma famille, et la famille Djoudi

À tous mes professeurs dans tous les niveaux académiques.

À mon binôme Razika Abbas.

Meriam

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

I.1. Introduction.....	2
I.2. Classification des énergies renouvelables.....	2
I.2.1. L'énergie Hydraulique.....	2
I.2.2. L'énergie géothermique :.....	3
I.2.3. La biomasse.....	4
I.2.4.1. L'énergie solaire thermique :.....	5
I.2.4.2. Le soleil photovoltaïque :.....	5
I.2.5. L'énergie éolien.....	6
I.3. L'états de l'art des systèmes éoliens.....	7
I.3.1. Rapide Historique sur l'éolien :.....	7
I.3.2. Définition de l'énergie éolienne :.....	7
I.3.3. Principe du vent.....	8
I.3.4. Les composant d'un éolien.....	8
I.3.5. Le principe de fonctionnement de l'éolien :.....	11
I.3.6. Les différents types des éoliens.....	11
I.3.6.1. L'éolien à axe horizontale.....	11
I.3.7. L'énergie éolienne en Algérie.....	15
I.3.8. Avantages et inconvénients de l'éolien.....	15
I.4. Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie.....	16
I.4.1. Potentiel hydraulique.....	16
I.4.2. Potentiel géothermique.....	16
I.4.4. Potentiel solaire :.....	17
I.4.5. Potentiel Éolien :.....	18
I.5. Climat et la situation géographique de la région d'Adrar.....	20
I.5.1. Définition du climat.....	20

I.5.2. Classification des climats	20
I.5.3. La situation géographique de la région d'Adrar :.....	22
I.5.4. Indices bioclimatiques :.....	23
I.5.4.1. Classification des climats en Algérie :.....	23
I.5.4.2. Les domaines bioclimatiques en Algérie :	23
I.5.4.3. Climat dans la région d'Adrar :.....	24
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II

II.1. Introduction	31
II.2 Présentation de la chaîne éolienne	31
II.3 Machine synchrone à aimants permanent	32
II.3.1 Généralités	32
II.3.2 Principes généraux.....	33
II.3.3 Structure d'une MSAP	33
II.3.3.1 MSAP sans Pièces Polaires	34
II.3.3.2 MSAP avec Pièces Polaires.....	36
II.3.4 Avantages et inconvénients de la MSAP	37
II.3.5.1 Passage direct : du triphasé au biphasé.....	38
II.3.6 Modélisation de la MSAP dans le repère de Park.....	38
II.3.6.1 Equations électriques	39
II.3.6.2 Equation électromagnétique.....	39
II.3.6.3 Calcul de puissance	39
II.4 Modélisation de système éolienne.....	40
II.4.1. La modélisation de vent.....	40
II.4.2. Modélisation de la turbine éolienne.....	40
II.5 Modélisation de la GSAP	43
II.5.1. Equation électrique	45
II.4.2 Equation mécanique	46
II.6 Modélisation de la charge	46
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III

III.1 Introduction	49
III.2. Généralités	49
III.3. simulation de turbine éolienne	50
III.4. Simulation de La Génératrice	51
III.4.1. Simulation de La Génératrice en vide	51
III.4.2. Interprétation des résultats	52
III.4.3. Simulation de La Génératrice en charge	54
III.4.4. interprétation des Résultat	53
III.5. Simulation de système globale	56
III.5.1.Résultats et simulation	57
III.5.2. Interprétation des Résultats	59
III.5. Conclusion	62

Chapitre IV

IV.1. Introduction	63
IV.2. Dimensionnement par le programme HOMER PRO	63
IV.3.Choisir le type de charge	64
IV.2.1. Rayonnement solaire et vitesse du vent	66
IV.4. Schéma de conception Du système éolienne sur le simulateur HOMER	68
IV.4.1. Résultats et discussion	69
IV.5. Le générateur éolien	73
IV.5.1. Interprétation des Résultats	74
IV.6. CONCLUSION	74
Référence bibliographiques	Erreur ! Signet non défini.

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Potentiel solaire en Algérie	18
Tableau I.2	La température moyenne du vent de la période entre (2010-2020)	24
Tableau I.3	Humidité moyenne de l'air de période entre (2010-2020)	25
Tableau I.4	Vitesse moyenne du vent de la période entre (2010-2020)	25
Tableau I.5	Consommation finale par secteur	26
Tableau I.6	Consommation nationale énergétique	27
Tableau I.7	La consommation de gaz naturel et les achats	28
Tableau I.8	La consommation de l'électricité dans la ville d'Adrar	28
Tableau I.9	Les nombre des abonnées consommateurs en Adrar	28
Tableau III.1	Les paramètres Utilisés pour Simulation	39
Tableau IV.1	Energie annuelle produite.	49
Tableau IV.2	Les trois types éoliens utilisés dans notre étude.	64

Liste des figures

Figure I.1	Fonctionnement d'une centrale hydraulique	3
Figure I.2	Centrale géothermique Enel (Italie)	3
Figure I.3	Le cycle de carbone « comment valoriser la biomasse »	4
Figure I.4	Fonctionnement des panneaux solaire thermiques	5
Figure I.5	Fonctionnement d'un panneau photovoltaïque	6
Figure I.6	Les composants de l'éolien	10
Figure I.7	Mono, double, triples et multi pales des éoliens	12
Figure I.8	Upwind et Downwind des turbines éoliennes	12
Figure I.9	Aérogénérateur à axe horizontal à marche rapide	13
Figure I.10	Aérogénérateur à rotor de Darrieus	14
Figure I.11	Aérogénérateurs à rotor de Savonius	15
Figure I.12	Carte géothermique de l'Algérie source : INCT	17
Figure I.13	Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale mois juillet	18
Figure I.14	Tracé des vitesses moyennes du vent à 10m du sol	19
Figure I.15	Les zones subtropicales	21
Figure I.16	Les domaines climatique et zones thermiques	22
Figure II.1	Schéma de la chaîne de conversion éolienne	31
Figure II.2	Types des rotors	32
Figure II.3	Machines à aimants superficiels	34
Figure II.4	Machines à aimants enterrés	34
Figure II.5	MSAP sans Pièces Polaires Aimantation radiale	35
Figure II.6	MSAP sans Pièces Polaires Aimantation tangentielle	36
Figure II.7	MSAP avec pièces polaires	36
Figure II.8	Passage de repère triphasé (abc) au diphasé (dq)	37
Figure II.9	Veine d'air sur une éolienne	41
Figure II.10	Coefficient de puissance	41
Figure II.11	Schéma bloc du modèle de la turbine	43
Figure II.12	Machine équivalente de la GSAP	44
Figure III.1	Schéma bloc du modèle de Turbine sous Simulink	50
Figure III.2	Variation de vitesse de Vent	50
Figure III.3	Courbe montre la variation de $C_p=f(\lambda)$	51
Figure III.4	Schéma bloc du modèle de la génératrice en vide	52
Figure III.5	Variation des tensions Statorique	52
Figure III.6	Variation des tensions V_d et V_q	53
Figure III.7	La variation de vitesse de Rotation(ω) en Vide	53

Figure III.8	Schéma bloc du modèle de la Génératrice en charge	54
Figure III.9	Variation des tensions Statorique	55
Figure III.10	Variation des tensions V_d et V_q	55
Figure III.11	La variation de vitesse de Rotation(w)	56
Figure III.12	Schéma bloc sur MATLAB de tout le système de l'énergie éolien	57
Figure III. 13	Vitesse de vent en fonction de temps	58
Figure III. 14	Tension statorique direct en fonction de temps	58
Figure III. 15	courant statorique direct en fonction de temps	58
Figure III. 16	Le couple électromécanique en fonction de temps	59
Figure III. 17	vitesse de rotation en fonction de temps	59
Figure III. 18	Courant quadratique en fonction de temps	59
Figure III.19	la tension quadratique en fonction de temps	60
Figure III.20	Le couple mécanique en fonction de temps	60
Figure III.21	les courant (abc) en fonction de temps	61
Figure IV.1	La situation géographique de Reggan	65
Figure IV.2	La consommation journalière de notre usine	66
Figure IV.3	Rayonnement solaire moyen et vitesse du vent par année à Reggane	67
Figure IV.4	Diagramme de système pour chaque système	68
Figure IV.5	Résultat de simulation de système par HOMER	69
Figure IV.6	Prix des générateurs de système	70
Figure IV.7	Profile de Puissance moyenne produite par le vent.	71
Figure IV.8	La production de l'énergie éolienne	73

Nomenclature

K tep	Calvin tonne équivalente pétrole
MSAP	Machine Synchrone à Aimante Permanente
d, q	Indices des composantes de Park directe et en quadrature.
$P(\theta)$	Matrice de passage de Park.
Ω_t	vitesse de rotation de la turbine
R_t	Rayon des pales (m)
V	vitesse moyenne du vent en m/s
C_g	Couple Multiplicateur
C_{em}	Couple électromagnétique
Cm	Couple moteur appliqué sur la génératrice (couple résistant).
C_f	Couple du fortement visqueux
L_d	Inductance suivant l'axe (d)
L_q	Inductance suivant l'axe (q)
P_{aero}	Puissance de l'aérogénérateur
C_p	Coefficient de puissance
P_V	La puissance du vent
λ	La vitesse spécifique
β	L'angle de rotation des aubes
Ω_{mec}	La vitesse de la génératrice
J_g	L'inertie du rotor de la génératrice
J_t	L'inertie de la turbine
J_{total}	L'inertie Totale
V_s	Vecteur Tensions Statoriques
I_s	Vecteur courants statoriques.
φ_s	Vecteur Flux statoriques
R_s	Matrice résistances du stator.
L_s	Matrice inductance du stator
F	Coefficient de frottement en N.m
J	Moment d'inertie.
P	Nombre de paires de pôles.
ω_k	Fréquence des harmoniques
a_k	Amplitude des harmoniques
Vm	La vitesse moyenne du vent.
Pm	puissance instantanée du vent

ρ	la masse volumique de l'air
Ω_t	Vitesse de la turbine
ω	Vitesse angulaire en rad/s
R_s	la résistance statorique en Ω
L_{dq}	l'inductance statorique sur les axes d et q
K_t	le coefficient du couple.
φ_f	C'est la valeur crête du flux créé par l'aimants permanents à travers les enroulements statorique
R_{ch}	Résistance en charge en Ω
L_{ch}	Inductance en charge en [H]
I_{sd}	Courant statorique direct [A]
I_{sq}	Courant statorique quadrature
ω	Vitesse de rotation
U_{abc}	Les tensions statorique
I_{abc}	Les courants statorique

Introduction Générale

Introduction Générale

L'énergie électrique est une composante très importante et nécessaire de la vie. Le monde a été témoin d'une augmentation considérable de la consommation d'énergie et des combustibles fossiles sont utilisés dans la production de cette énergie, qui est extraite du sol, qui sont les restes vivants formés dans la croûte terrestre il y a des millions d'années. Et comme les combustibles fossiles sont une source naturelle et perméable, le monde a recours à leur remplacement par des sources propres et renouvelables pour générer de l'énergie , par exemple, nous trouver l'énergie hydroélectrique, l'énergie solaire, l'énergie nucléaire, la géothermie, l'énergie de la mer représentée dans les marées et l'énergie éolienne, qui est notre sujet, qui est de convertir l'énergie éolienne en énergie électrique, devenue compétitive dans le monde grâce à son caractère catalytique. , il existe des problèmes liés aux systèmes de conversion de l'énergie éolienne et à l'instabilité de la vitesse du vent.

Dans le premier chapitre : nous traiterons une description des énergies renouvelables et du fonctionnement de chacune d'elles, en plus de leur rentabilité au niveau national et dans la région du Sahara, en particulier la région d'Adrar, puis notre L'étude est basée sur l'énergie éolienne, le principe de ses travaux et les impacts climatiques dans la région en particulier et dans le monde. Et la consommation d'énergie au niveau national et mondial, en particulier dans la région d'Adrar

Le deuxième chapitre : nous examinerons la modélisation et le détail mathématique d'un système éolien, du vent et de la turbine au générateur à la Charge. Pour commencer, nous nous référerons à Machine Synchrone à aimants permanents, sa définition, ses composants, ses types, etc.

Dans le troisième chapitre : nous simulons le système éolien avec ses différentes composantes (turbine, générateur et charge) à l'aide du programme MATLAB/Simulink et en utilisant les équations mathématiques auxquelles nous sommes parvenus lors de la modélisation du système.

Enfin dans le quatrième chapitre : nous avons quelques comparaisons de plusieurs types d'éolienne en termes de composition, qualité, prix, production et le cout afin de découvrir le meilleur et le plus efficace.

CHAPITRE I : Généralités sur les énergies Renouvelables

I.1. Introduction

Le monde d'aujourd'hui est confronté à un tournant sans précédent pour atteindre l'efficacité énergétique, et le changement climatique se poursuit encore en raison des émissions résultant de la combustion de combustibles fossiles, et pour réduire ce changement, nous devons réduire la consommation de ces combustibles et aller aux énergies renouvelables, qui devraient être un élément central. Il existe un large éventail de types d'énergies renouvelables, qui se limitent à l'utilisation des ressources locales, ce qui permet de protéger l'économie de la dépendance de l'extérieur et d'atteindre un système énergétique durable.

Dans ce chapitre, nous allons donner une description détails de chaque type des énergies renouvelables avec le potentiel de chaque énergie en Algérie et nous terminerons avec les consommations énergétiques dans la région d'Adrar et en Algérie.

I.2. Classification des énergies renouvelables**I.2.1. L'énergie Hydraulique**

L'énergie hydraulique cela dépend généralement de l'eau des barrages, des rivières et des océans. Une centrale hydroélectrique est construite soit au milieu des rivières, qui sont reliées au débit d'eau, soit dans une dépression par rapport aux barrages, ou l'on a la chute d'eau et la rotation des turbines. Le principe de fonctionnement de le centrale hydroélectrique si la transformation de l'énergie cinétique d'eau en énergie mécanique à travers de rotation des turbines et transformé cette dernière en énergie électrique à travers de générateur.

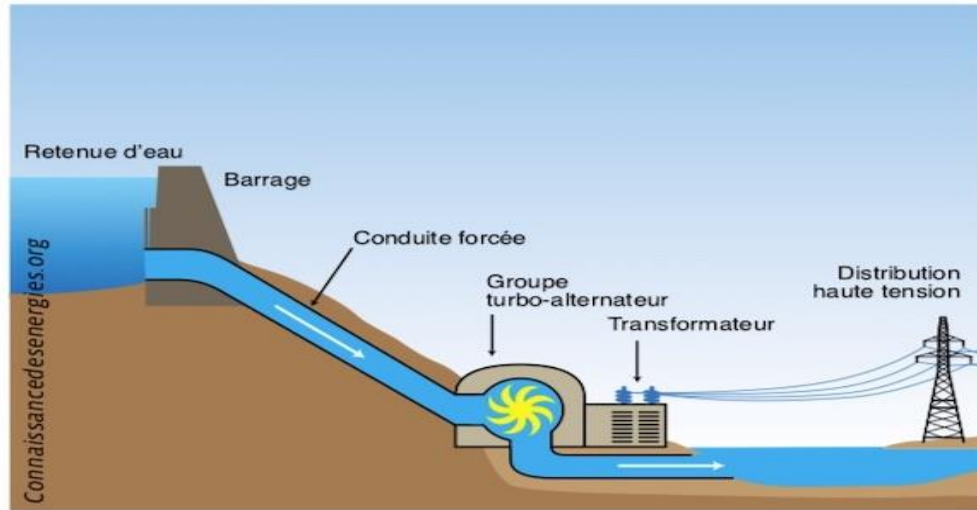


Figure I.1 : fonctionnement d'une centrale

I.2.2. L'énergie géothermique :

L'énergie géothermie dépend si la science qui étudie la chaleur située dans le sol. Pour profiter de la géothermie, nous faisons circuler un fluide à quelques mètres dans les profondeurs de la terre au moyen des tubes, pour élever ce liquide chaud vers les habitations et les bâtiments pour Utilisées directement. La géothermie est également utilisée dans la production d'électricité par forage à de grandes profondeurs afin d'atteindre une température élevée au point de produire une grande vapeur capable de faire tourner des turbines reliées à un générateur pour le faire tourner et produire de l'énergie électrique.



Figure I.2: centrale géothermique Enel(Italie)

I.2.3. La biomasse

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Pendant la photosynthèse, les plantes ont besoin du dioxyde de carbone présent dans la nature. Les plantes absorbent le dioxyde de carbone, mais il n'est pas complètement utilisé dans le processus, donc une partie de celui-ci est stockée à l'intérieur des plantes et quand elles meurent, pendant des millions d'années, elles se forment sur le dessus comme une parcelle de terre stockée sous terre. Avec cette partie du dioxyde de carbone réagit au fil du temps pour se transformer en combustibles fossiles, en gaz ou en pétrole. Si nous extrayons ce combustible fossile et l'utilisons pour produire de l'énergie, il générera d'énormes émissions de dioxyde de carbone, nous en avons donc des niveaux élevés dans l'atmosphère, et ce combustible s'use et s'épuise. Au fil du temps, ce cycle n'est pas durable. Au lieu de cela, nous utilisons ces déchets animaux ou végétaux pour chauffer ou produire de l'électricité en la brûlant directement pour chauffer et en remplaçant la nature par de nouvelles plantes pour absorber et réduire le dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Cette idée pourrait également être développée au lieu d'utiliser simplement du bois de chauffage pour le chauffage. Il peut être utilisé dans l'usine de production. De l'énergie pour produire de l'électricité, mais cela peut entraîner une augmentation des émissions de dioxyde de carbone et une perte de forêts, mais c'est un plan solide pour renouveler ce qui est utilisé à partir du bois de chauffage en plantant.

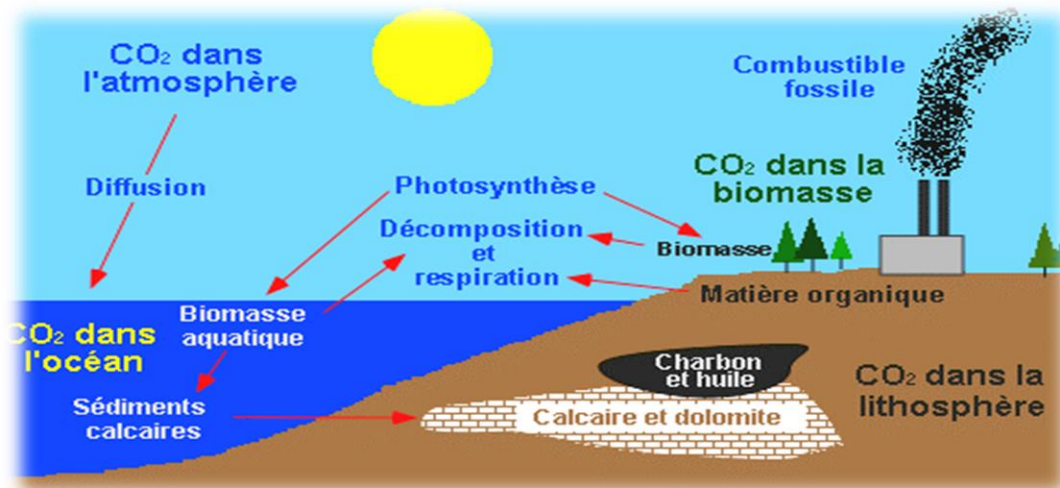


Figure I.3 : Le cycle de carbone « comment valoriser la biomasse »

I.2.4. L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'une des énergies propres disponibles qui peut être exploitée, en particulier dans les régions chaudes proches de l'équateur en raison de sa grande importance dans la production d'énergie électrique, et elle peut également être utilisée pour le chauffage, climatisation, le chauffer d'eau et le séchage. On distingue deux techniques d'exploitations de l'énergie solaire, le solaire thermique et le solaire photovoltaïque.

I.2.4.1. L'énergie solaire thermique :

Afin de convertir l'énergie solaire en énergie thermique, nous utilisons différents capteurs pour absorber le maximum de lumière solaire et l'utiliser pour chauffer un fluide circulant dans ces capteurs. Les rayons du soleil sont également utilisés pour chauffer les maisons et les bâtiments. Le soleil thermique bas température permet essentiellement le chauffage de l'eau sanitaire et la production combinée de chauffage par plancher chauffant (planchersolaire direct). Les pays qui utilisent le plus l'énergie solaire pour le chauffage sont Etats-Unis, Japon et les Européennes.

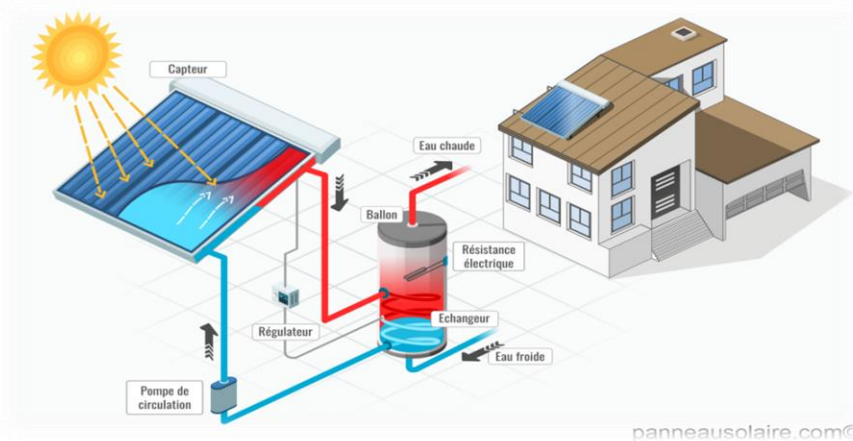


Figure I.4. : Fonctionnement des panneaux solaire thermiques

I.2.4.2. Le soleil photovoltaïque :

La transformation de l'énergie lumineuse de soleil en énergie électrique se fait par l'effet photovoltaïque. C'est quoi l'effet photovoltaïque ?

L'effet photovoltaïque : fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Le mot "photo" vient du grec qui veut dire lumière et "voltaïque" vient du

nom d'un physicien Italien Alessandro Volta qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité et d'après qui on a aussi nommé l'unité de tension électrique le "volt". [1]

L'effet photovoltaïque permet de transformer directement la lumière solaire en énergie électrique, à cause de lumière du soleil nous créer un mouvement des électrons dans la jonction PN d'une cellule cette circulation des électrons créent une tension électrique continue faible, une partie de l'énergie cinétique des photons transformés directement en énergie électrique, mais ce n'est pas la seule raison de produire de l'électricité c'est aussi lié à un durée de L'ensoleillement et à l'orientation du panneau par rapport au soleil.

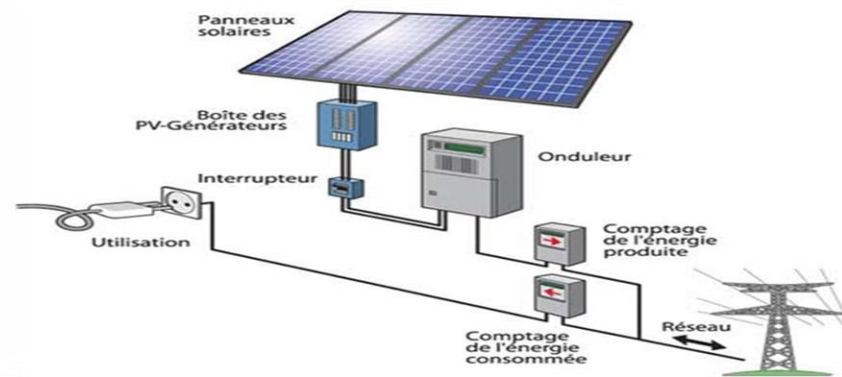


Figure I.5: fonctionnement d'un panneau photovoltaïque

Mais le photovoltaïque nécessite plus de développement, comme un système de stockage d'énergie par exemple. Et son avantage réside dans la conversion directe de l'énergie solaire en électricité, ce qui en fait une source d'intérêt dans certains pays en développement qui ne disposent pas d'un grand réseau électrique.

I.2.5. L'énergie éolien

Cela dépend de l'énergie cinétique du vent, qui nous donne de l'énergie mécanique en faisant tourner les éoliennes, et cette dernière peut être convertie en énergie électrique par un générateur relié à ces turbines. L'énergie éolienne a connu un tournant majeur ces derniers temps grâce à son caractère catalytique et à ses différents domaines d'utilisation. Il peut être utilisé pour pomper de l'eau dans l'agriculture, ainsi que dans l'environnement urbain et produire de l'électricité dans le domaine industriel, car c'est une énergie propre qui ne pollue pas l'environnement. "Il a connu une croissance sans précédent de 30% par an dans le monde". [2]

I.3. L'états de l'art des systèmes éoliens

Nous présenterons un bref article sur le concept de l'énergie éolienne, principe de vent, ses composants, son principe de fonctionnement et ses différents types.

I.3.1. Rapide Historique sur l'éolien :

Le vent est une source divine qui existe depuis la création de l'humanité. Cette énergie a été exploitée au cours des siècles anciens dans plusieurs domaines et utilisations diverses, comme la propulsion de bateaux et le broyage des céréales par des moulins à vent. L'énergie du vent est utilisée depuis des siècles pour moudre des céréales ou pomper de l'eau. Son utilisation a d'ailleurs marqué de nombreux paysages ruraux en Europe. La première éolienne de production d'électricité (12 kW, courant continu) a été mise en service en 1888 aux États-Unis. Elle comportait 144 pales et un rotor de 17 m de diamètre. La première turbine à courant alternatif date des années 30. Jusqu'au milieu du XXe siècle, l'éolien est utilisé essentiellement en sites isolés. C'est dans les années 70 qu'il connaît un nouvel essor. A la fin du XXe siècle, le développement très rapide d'éoliennes de plus en plus puissantes et performantes est essentiellement le fait des industries européennes (Danemark puis Allemagne, Espagne...). La capacité installée mondiale passe de 4800 MW en 1995 à 74 000 en 2006 avec des taux de croissance annuelle oscillant entre 30 et 45 %. [3]

I.3.2. Définition de l'énergie éolienne :

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le plus souvent cette énergie est elle-même transformée en énergie électrique. Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs, tandis que les éoliennes qui pompent directement de l'eau sont parfois dénommées éoliennes de pompage, dont un type particulier est l'éolienne Bollée. Les termes de parc éolien ou de ferme éolienne sont utilisés pour décrire les unités de production groupées (installées à terre ou en mer). "Énergie produite à partir de la force du vent sur les pales d'une éolienne. Lorsque le vent se met à souffler, les forces qui s'appliquent sur les pales des hélices induisent la mise en rotation du rotor. L'énergie électrique ainsi produite peut-être distribuée sur le réseau électrique grâce à un transformateur". [4]

I.3.3. Principe du vent

Le vent, c'est de l'air qui se déplace à cause des différences de température et de pression dans l'atmosphère. En effet, l'air chaud est plus léger que l'air froid. C'est pourquoi, quand le Soleil chauffe la mer ou le sol, l'air qui se trouve juste au-dessus se réchauffe, s'allège, et monte, en poussant l'air froid qui est plus haut. L'air froid, plus lourd, descend et vient remplacer l'air chaud, puis il se réchauffe à son tour, et ainsi de suite.

I.3.4. Les composant d'un éolien

De manière générale, une éolienne est constituée principalement de 3 parties, le mât, le rotor et la nacelle, ces parties doivent être étudiées et modélisées minutieusement de façon à obtenir un meilleur rendement et une bonne fiabilité du système ainsi qu'un faible coût d'investissement. [1]

✓ Le mât

Il représente un tube d'une certaine hauteur pour empêcher les pales de toucher le sol d'un côté, et recevoir la vitesse du vent plus rapidement que le rotor d'autre part. Plus la longueur du mât est grande, meilleure est l'utilisation du vent et meilleure est l'efficacité. Sa fondation est fixe et fixée dans le sol pour assurer la stabilité de l'éolienne. « Trois grands types de tour peuvent se rencontrer, mât haubané, tour en treillis et tour tubulaire. La tour a une forme légèrement conique ou, à l'intérieur, sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôle, les appareillages de connexion au réseau de distribution ainsi que l'échelle d'accès à la nacelle. » [1]

✓ Le rotor

Il représente la partie mobile de l'éolien et comprend les pales et l'arbre primaire. Il reçoit l'énergie éolienne et la convertit d'énergie cinétique en énergie mécanique. Les matériaux pour faire les pales diffèrent, on retrouve donc ceux en plastique ou en bois, etc., et leur nombre varie également, il y a éolien avec une pale, ou deux ou 3 pales, et les plus utilisés sont avec trois pales, donc plus le nombre de pales est petit, plus la vitesse de rotation est grande, plus il y a de bruit autour du lieu, et moins d'énergie produite pour cela. La plupart des fabricants fabriquent avec 3 pales. Les rotors à vitesse constante moins sont pris en charge par le système d'orientation pour

les pales afin de contrôler leur vitesse et leur sens de rotation et la capacité de travailler dans un environnement synchrone et en contact direct avec le réseau

✓ La Nacelle :

C'est un élément fixe dans l'éolien qui comprend un groupe d'éléments impliqués dans la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique, à savoir :

- **L'arbre primaire** (ou arbre lent) : relie les pales au multiplicateur.
- **Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'**intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire**
- **L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
- **Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
- **Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation. [5]
- **Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
- **Les différents types des génératrices**

✓ Les machines synchrones

Dans le cas des machines synchrones, son rotor doit tourner à une vitesse constante dépendant de cette fréquence (à la vitesse dite de synchronisme). Si le stator est directement connecté au réseau électrique, la fréquence du stator, f , est la fréquence du réseau (50 Hz). Par conséquent, le rotor de la génératrice tourne à une vitesse fixe imposée par le réseau que l'on ne peut changer. [6]

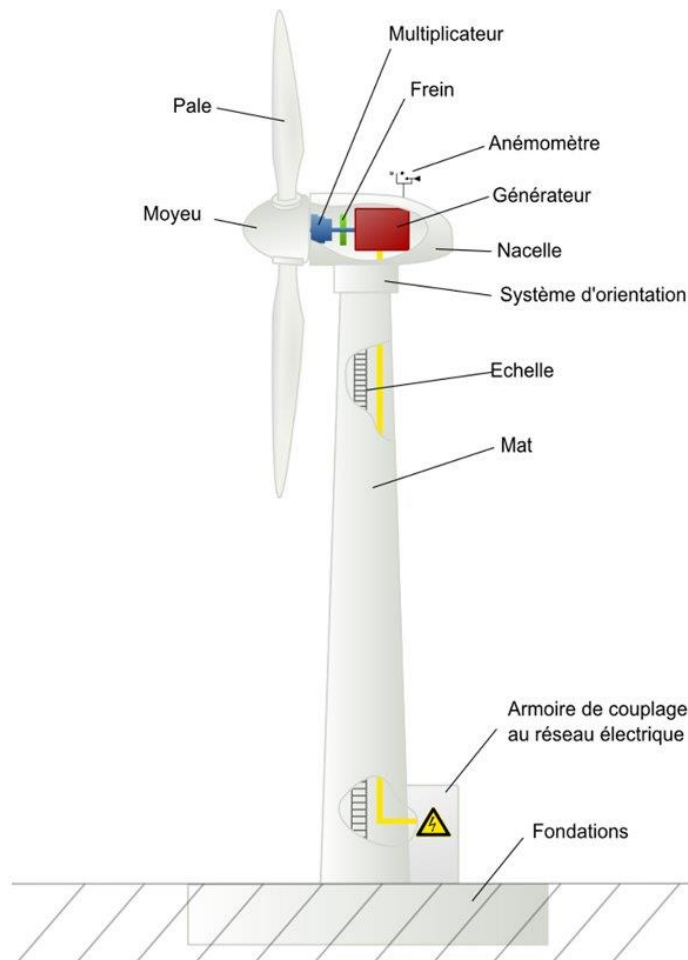
- Générateur Synchrone à Rotor Bobiné
- Générateur Synchrone à Aimants Permanents (GSAP)

✓ Les machines asynchrones

Contrairement aux autres moyens traditionnels de production d'énergie électrique où l'alternateur synchrone est largement utilisé, c'est la génératrice asynchrone à cage d'écurie qui équipe actuellement une grande partie des éoliennes installées dans le monde.

La robustesse et le faible coût ainsi que l'absence de balais-collecteurs ou de contacts glissants sur les bagues la rendent tout à fait appropriée pour l'utilisation dans les conditions parfois extrêmes que présente l'énergie éolienne.

Il existe plusieurs types de configurations utilisant la machine asynchrone dans toutes ses formes (Machine asynchrone à rotor bobiné, Machine asynchrone à cage, Machine asynchrone à double stator, MADA...etc.) [16].



FigureI.6 : les composants de l'éolien

I.3.5. Le principe de fonctionnement de l'éolien :

Il travaille sur la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en électricité à travers les étapes suivantes :

1. **Conversion d'énergie par les pales :** les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion. La différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique
2. **Accélération d'un mouvement de rotation grâce au multiplicateur :** le multiplicateur accélère le mouvement de rotation de (1000-2000) tours par minute pour produire de l'électricité
3. **Production d'électricités par le générateur** double transfère l'énergie mécanique à travers le générateur vers l'énergie électrique.
4. **Traitement électrique à travers le transformateur**, le transformateur ne peut pas utiliser l'électricité directe, il la traite et augmente ensuite la tension 2000 volt avec lui également après cela, il est allé dans des sous-stations avec des supports de fils et de câbles pour être transformés et injectés dans le réseau électrique puis distribués au consommateur.

I.3.6. Les différents types des éoliens

Ilya deux types de l'éolien : à axe horizontale et à axe verticale

I.3.6.1. L'éolien à axe horizontale

C'est le plus largement utilisé dans le domaine de l'énergie car il a un rendement aérodynamique élevé, en plus de ces démarrent de façon autonome, il varie en fonction du nombre des pales, on trouve donc mono, double et triple pales à multiples pales. Les trois pales sont très présentes et largement utilisés en raison de leur coût moyen et pour équilibrer les forces agissant sur leur centre et produire une plus grande énergie. Il se caractérise par un axe de rotation parallèle au sol et donc à la trajectoire du vent équipé d'un système de guidage du rotor. L'air circule sur les deux surfaces de pale à des vitesses différentes, créant une différence de pression sur les extrémités supérieure et inférieure de la pale, résultant en une force appelée portance aérodynamique. Il existe également un certain nombre d'autres conceptions d'éoliennes qui n'ont pas été certifiées

commerciallement en raison de leur complexité et de leurs coûts prohibitifs. La complication trouvée dans une éolienne à axe horizontal est que le générateur et la nacelle sont placés sur la tour contenant les hélices éoliennes, ce qui les rend coûteuses et difficiles à concevoir.

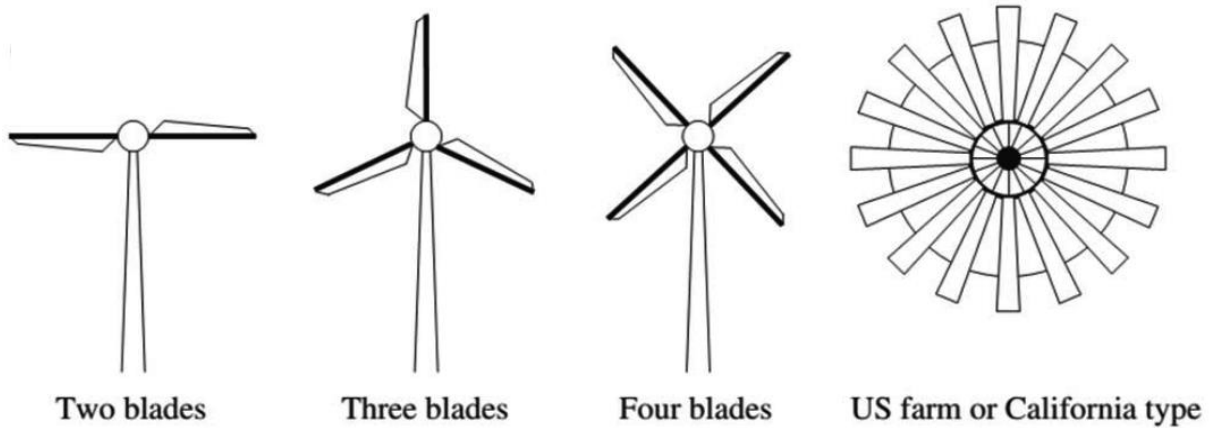


Figure I.7 : Classification des éoliennes à axe horizontal selon le nombre de pale.

Il existe également deux autres types dans ce type d'éolienne, qui sont Upwind(Amont) et Downwind (Aval). Le premier est un véhicule vent arrière, ce qui signifie qu'il ne fonctionne pas bien lorsque le vent se dirige dans la direction opposée, à moins qu'il ne soit équipé d'un système d'orientation. Quant au second type, sous le vent, il fonctionne dans les deux cas, même si le vent est en sens inverse du sens de son installation, il donne une bonne énergie.

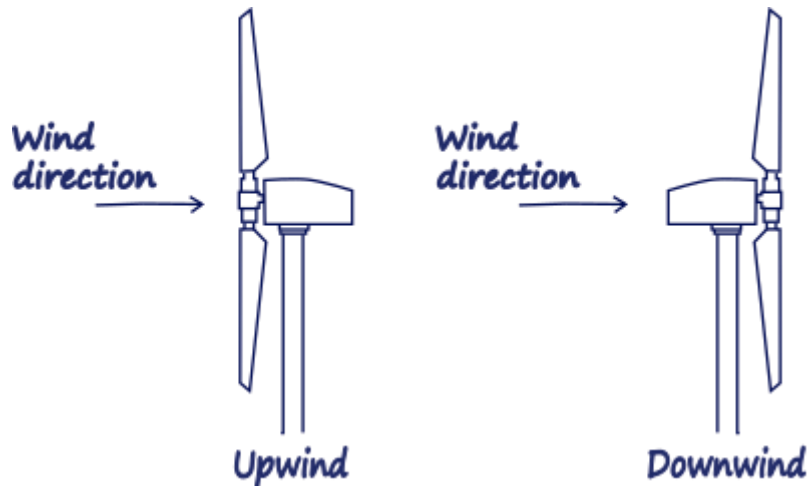


Figure I.8: Upwind et Downwind des turbines éoliennes

a. Les éoliennes lentes : Les éoliennes à marche lente sont constituées d'un grand nombre de pales (entre 10 et 40). Ce type d'éolienne est défini par leur inertie importante et ont un couple de Démarrage proportionnel au nombre de pales et au diamètre (maximum de 10 m) ; leur rendement par rapport à la limite de Betz est faible car leur vitesse en bout de pale est limitée. [7]

b. Les éoliennes rapide : Les éoliennes à marche rapide sont beaucoup plus utilisées et pratiquement toutes dédiées à la production d'énergie électrique. Elles possèdent généralement trois pales fixes ou orientables pour extraire le maximum de puissance cinétique de vent et pour contrôler la vitesse de rotation à chaque instant.



Figure I.9 : Aérogénérateur à axe horizontal à marche rapide

- **L'éolien à axe vertical :**

Ce type est très rare et est utilisé à petite échelle comme pompage d'eau dans les zones rurales. Le seul type présent dans la production commerciale est la turbine Darrieus, dont la configuration est similaire à un fouet à œufs. Ce type de turbine est installé sur un axe perpendiculaire au sol parallèle à la direction du vent. Il n'a pas besoin d'ajustements lors du changement de direction et de cours des vents, mais il ne peut pas tourner ou se déplacer seul, il a plutôt besoin d'une poussée de son système électrique pour commencer à travailler et utiliser les fils de support au lieu de la tour, donc la hauteur du mât est plus faible et donc des vents plus lents du fait de sa proximité avec le sol, alors les turbines à axes La verticale est généralement moins efficace qu'horizontale, mais en termes d'installation et de maintenance, c'est plus facile car tous ses équipements sont installés au niveau du sol. Il existe deux types des turbines verticaux, à savoir.

- **Aérogénérateurs à rotor de Darrieus :**

L'éolienne Darrieus est une éolienne qui se base sur un rotor en H, cylindrique ou hélicoïdale, qui tourne autour d'une tige fixe. Ce type d'éolienne verticale a de nombreux avantages dont celui de pouvoir être installé dans des endroits très éventés et de faire très peu de bruit comparé aux autres éoliennes du marché. L'inconvénient de ce type d'éolienne est d'avoir besoin d'un vent relativement fort pour commencer à tourner et donc à produire de l'énergie.

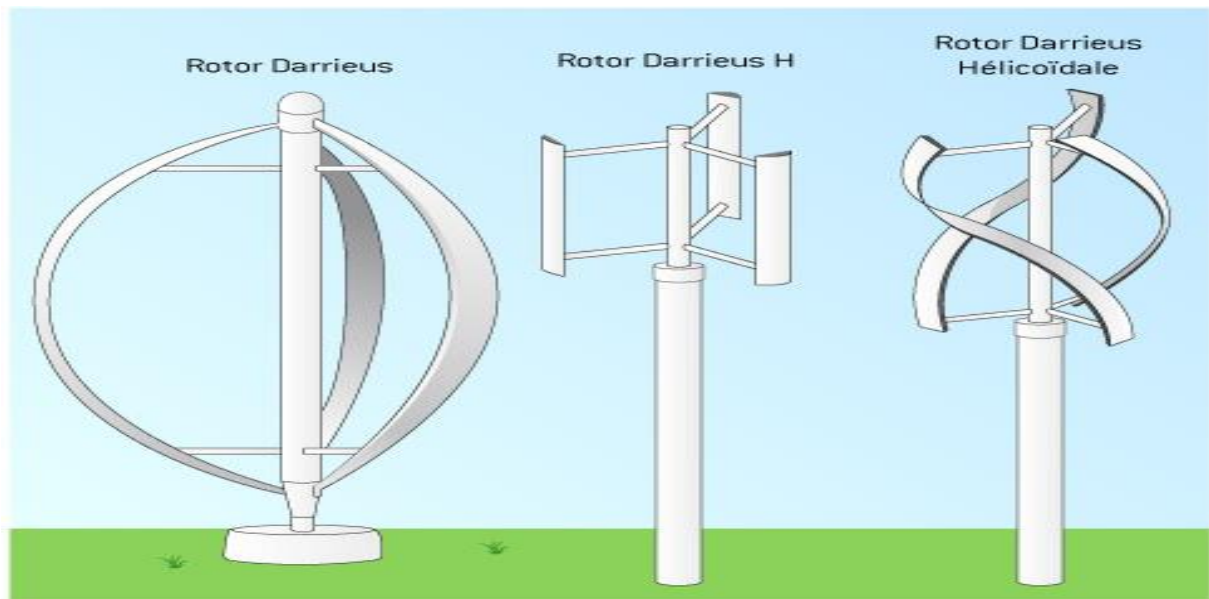


Figure I.10 : Aérogénérateur à rotor de Darrieus

- **Aérogénérateurs à rotor de Savonius**

Après avoir expérimenté les axes verticaux de Darius et parce qu'ils ne fonctionnent pas de manière autonome, ils ont été développés par l'inventeur finlandais Savonius pour inventer d'autres turbines brevetées appelées turbines Savonius supportées par un système électrique qui les aide à démarrer est basé sur un couple aérodynamique induit par la déflexion de l'écoulement sur les pales. Ce type d'éolienne est bon pour capter les vents forts (en haute montagne, par exemple ...) et malgré son faible rendement par rapport aux éoliennes classiques, il a l'avantage de fonctionner dans toutes les directions du vent.

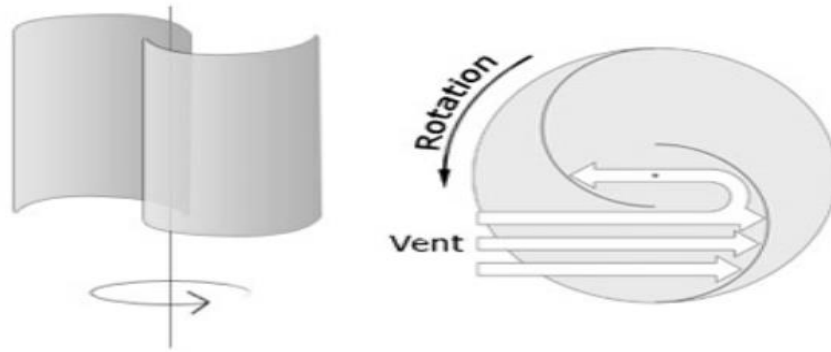


Figure I.11: Aéro-générateurs à rotor de Savonius [2]

I.3.7. L'énergie éolienne en Algérie

L'Algérie, accuse un retard important dans la course aux énergies renouvelables, malgré la décision gouvernementale qu'un programme ait été élaboré dans le plan d'action "2011-2030", dans l'objectif d'installation d'une puissance de 5.1 GW de source éolienne. A ce jour, une première et „unique“ ferme éolienne de 10MW a été installée dans la région de Kaberten dans la wilaya d'Adrar. [8]

I.3.8. Avantages et inconvénients de l'éolien

- **Les avantages**
 - L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, contrairement aux autres énergies fossiles.
 - Est une énergie propre. Elle n'a aucun impact néfaste sur l'environnement comme les autres sources d'énergie qui ont causé un changement radical du climat par la production énorme et directe du CO₂.
 - C'est une source d'énergie locale, permettant de minimiser les pertes en lignes transporteuses vers les lieux généralement très proches.
 - Après son temps de fonctionnement (environ 20 ans) elle est entièrement démontable et ne laisse aucune trace

- **Les inconvénients**

- Le bruit aérodynamique lié à la vitesse de rotation du rotor.
- Elle représente un danger pour les migrations des oiseaux.
- Elle représente une infime production d'électricité par rapport aux autres moyens tels que le central nucléaire.
- Elle dégage une nuisance sonore et lumineuse, provenant des flashes nécessaires à l'aviation civile.

I.4. Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie

L'objectif de la stratégie de développement énergétique de l'Algérie est d'atteindre l'efficacité dans la production d'énergie et aller réduire l'utilisation des énergies fossiles en s'orientant vers l'utilisation des énergies renouvelables.

L'introduction des énergies renouvelables conduira à :

- Augmenter l'utilisation des ressources disponibles meilleure contribution à la réduction du dioxyde de carbone,
- Diminution de la part des énergies fossiles dans le bilan énergétique national
- Développement de l'industrie nationale
- Création d'emploi

I.4.1. Potentiel hydraulique

Actuellement en Algérie, il y a plus de 103 barrages 50-73 en fonctionnement, mais au final le profit est faible en raison de la concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m^3 , dont environ 2/3 pour les ressources en surface.[9]

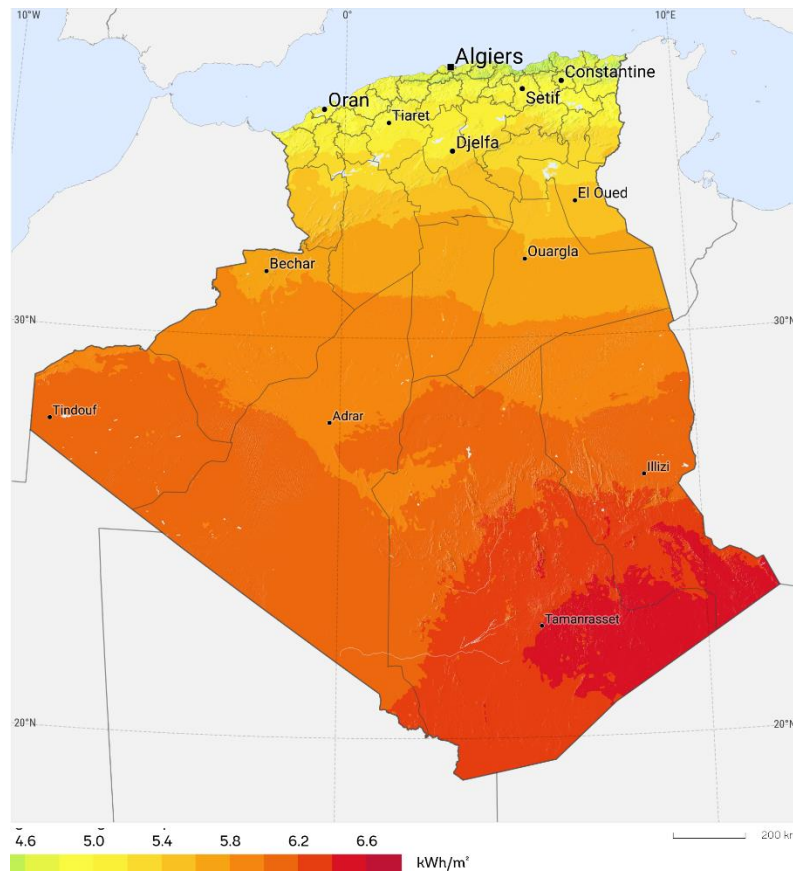
I.4.2. Potentiel géothermique

Plus de 200 sources chaudes dans la partie nord du pays ont été dépouillées de 33%, et certains d'entre eux estiment que leur température dépasse 45 degrés Celsius, et à Biskra, les sources atteignent 118 degrés centigrades. Puis ils ont découvert d'autres régions où le gradient de température dépasse 5 degrés centigrades/100m [9].

Est de l'ordre de 5KW/h sur la majeure partie du territoire national, ce potentiel est décomposé comme suit anordi, près de 1700kwh/m²/an au nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays [9]

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energies moyenne reçue (kWh//an	1700	1900	2650

TableauI.1: potentiel solaire en Algérie



FigureI.13: Irradiation globale journalière reçue sure plan horizontale au mois de juillet.

I.4.5. Potentiel Éolien :

La topographie et climat sont les principaux facteurs de la ressource éolienne en Algérie, le sud est caractérisé par la vitesse du vent plus haut du nord, surtout au sud-ouest, avec vitesse

supérieures à 4m/s et supérieures à 6m/s dans la région depuis Adrar. Par rapport au nord, on note généralement la vitesse moyenne faible première expérience dans les énergies renouvelables utilisé pour pomper l'eau l'aide d'éolienne en Afrique, il a été implémenté dan l'Adrar en 1957 à Oulad Aissa palace, pour irriguer 50HEC ce système éolien il a été vandalise en 1962 lorsque les français ont quitté l'Algérie. En juillet 2014 dans le cadre de la première phase du programme de d'développement des ENR, l'Algérie a inauguré sa première ferme éolienne de 10 MW. Cependant, l'éolien reste peu développé en Algérie, ou le potentiel est relativement faible. C'est pour cette raison que la part de l'éolien dans le nouveau mix énergétique prévu pour 2020 demeure faible. [10]

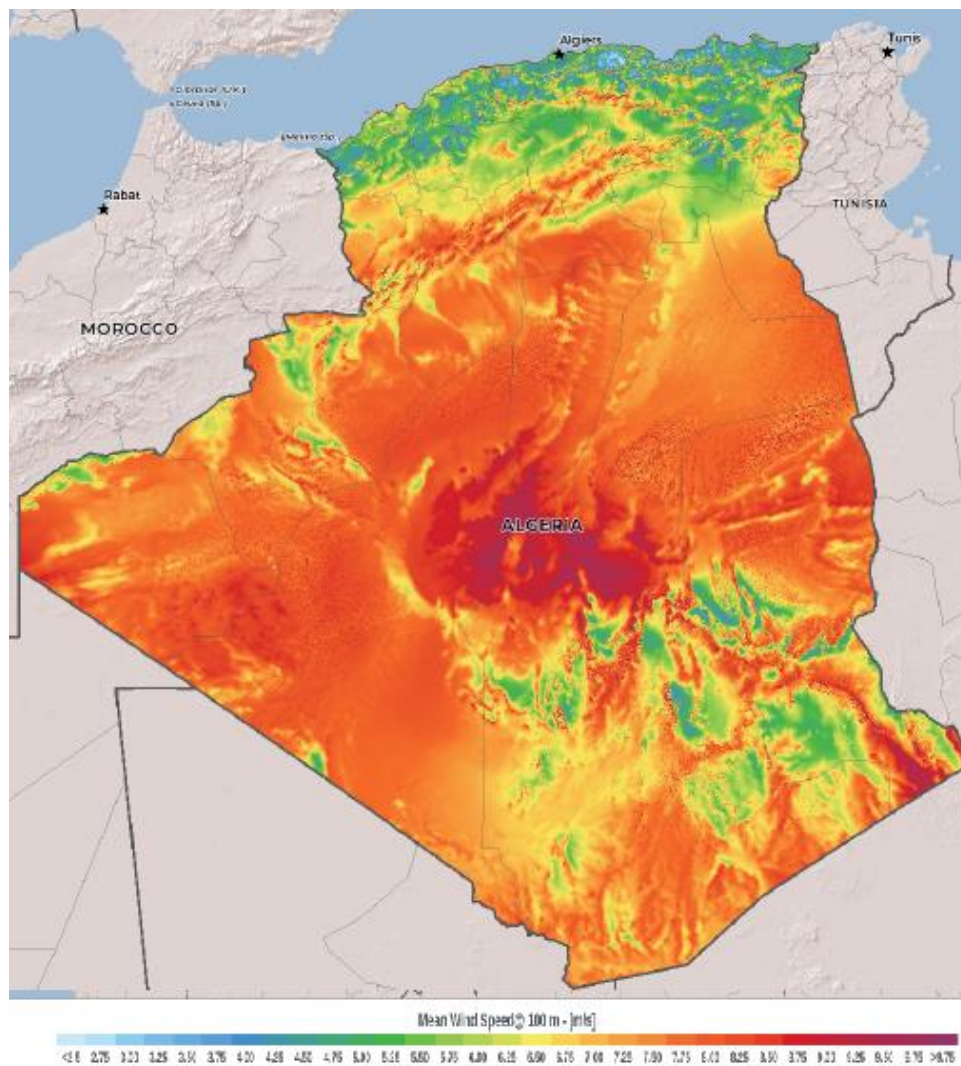


Figure I.14 :Map des vitesses moyennes du vent à 10m du sol.

I.5. Climat et la situation géographique de la région d'Adrar :

Les études climatiques récentes s'appuient beaucoup sur les statistiques et la modélisation pour pouvoir simuler le comportement des paramètres atmosphériques. Ces études nous permettent de prévenir un déséquilibre climatique et limiter ces effets. L'étude de climat pour un hydrogéologue est une étape indispensable pour l'évaluation des potentialités hydriques d'une région. Une grande partie de l'eau réside dans l'atmosphère sous forme de vapeur, l'état des paramètres atmosphériques. [14].

I.5.1. Définition du climat :

C'est la distribution climatique des conditions atmosphériques dans une région et diffère de l'étude du temps. Le climat est déterminé dans tous les cas de l'atmosphère principalement (lumière du soleil, air, humidité, vent, etc) en fonction de l'emplacement. Il est déterminé à l'aide de moyennes de mesures statistiques annuelles et mensuelles des données atmosphériques. Le but de l'étude climatique est d'analyser les éléments météorologiques ainsi que de rechercher les causes qui expliquent les fluctuations climatiques.

I.5.2. Classification des climats :

La topographie climatique de la planète diffère d'une région à l'autre dans le monde : il existe six terrains connus répartis dans le monde entier en fonction de la localisation de la zone et de la variété des conditions météorologiques. Il y a 4 zones climatiques majeures dans le monde :

- **Zone tropicale** : Ce sont les zones exposées à l'abondance du rayonnement solaire délimité par le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne (23,5 degrés sud et nord) où le soleil atteint son zénith depuis la terre ou la valeur maximale de son rayonnement au moins une fois par an. Parmi les régions à ce climat figurent celles d'Amérique du Sud et d'Amérique centrale, du nord de l'Australie, de certaines parties de l'Indonésie et de l'Afrique du Sud. L'Algérie, avec le Maroc, la Tunisie et la Libye, est l'un des pays d'Afrique du Nord qui a ce genre de climat.
- **Zone subtropicale** Il est connu comme un climat tropical humide, et se caractérise par des hivers froids et des étés chauds et humides, où les températures peuvent monter et

baisser soudainement, et est égal au climat méditerranéen. Il est situé entre les tropiques et les régions tempérées.

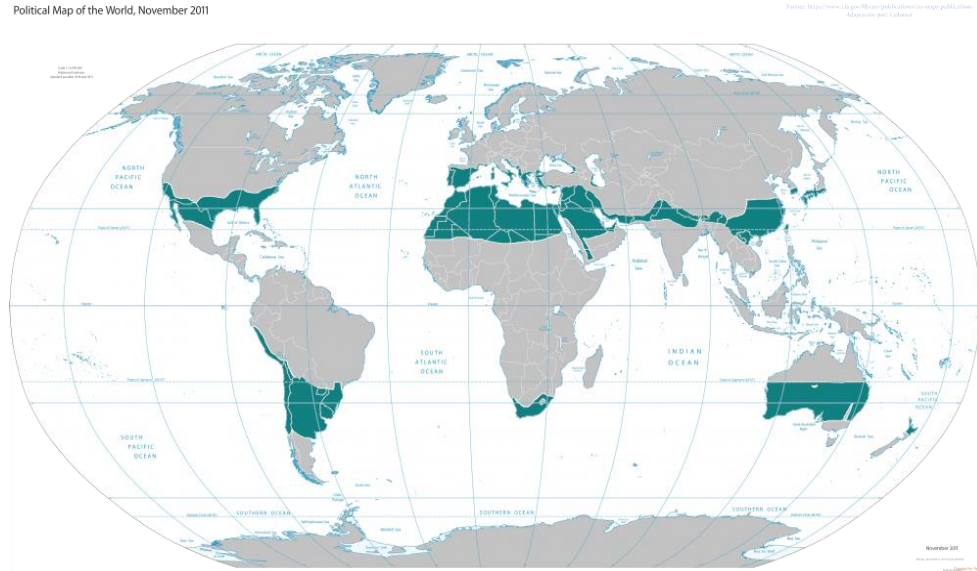


Figure I.15 : les zones subtropicales

- **Zone tempérée :**Le climat tempéré relie la région tropicale et la région polaire aux changements de température et aux fluctuations des saisons, mais il est généralement tempéré. Il comprend également le climat méditerranéen humide et subtropical, mais exclut les régions arides et les régions à climat continental et nordique caractérisé par un hiver rigoureux
- **Zone froide :**La région froide ou polaire, qui est la partie nord et sud du globe et l'océan gelé qui est dominé par la couverture de glace, et la température est très basse, légèrement proche de zéro, et toujours inférieure à cela et est divisée en deux Environnements: 1 Milieu froid: l'un de ses avantages est la longueur de la saison hivernale Et le manque de précipitations car la neige la submerge, son extension dans l'hémisphère nord 2 Milieu polaire: caractérisé par un froid et un gel permanents et dominé par la glace et son extension est les pôles nord et sud. [11]

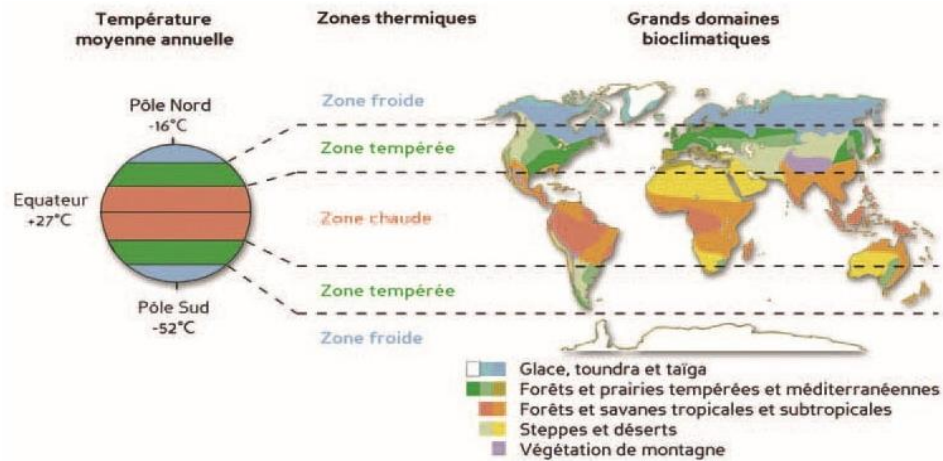


Figure I.16 : Les domaines climatique et zones thermiques

Le climat est déterminé en fonction de ces zones. Nous trouvons :

- Climat équatorial
- Climat tropical
- Climat aride
- Climat tempéré
- Climat froid
- Climat polaire

I.5.3. La situation géographique de la région d'Adrar :

La région d'Adrar se situe dans le Sahara central au Sud-ouest d'Alger. Elle est distante d'environ 1.543 km de la capitale sur une altitude de 279 m. Cette région couvre une superficie de 427.971 km soit 19,97 % du territoire national. La Wilaya d'Adrar est composée de 28 communes regroupées en 11 dairates, Adrar, Fenoughil, Aoulef, Reggane, Timimoune, ZaouietKounta, Tsabit, Aougrou, Charouine, Tinerkouk, et Bordj Badji-Moukhtar. D'un point de vue géographique, cette wilaya comprend trois principales régions qui sont : Le Gourara, le Touat et le Tidikelt. « Souvent qualifié de "rue des palmiers", le Touat, correspond au prolongement de la vallée de la Saoura. Il se localise sur la bordure Nord-orientale d'Adrar. Son aspect est celui d'une vallée dont le versant oriental affecte le rebord du plateau de Tademaït ».[12]

Leur cadre géographique situé entre les coordonnées géographiques :

- Les longitudes entre 00°30 et 00°30 à l'Ouest.
- Les latitudes entre 26°03 et 28°03 au Nord. [13]

I.5.4. Indices bioclimatiques :**I.5.4.1. Classification des climats en Algérie :**

L'Algérie est située au centre du continent Nord-africain, avec une superficie de 2.381.741km², elle est le plus grand pays en Afrique. Avec près de 1200 Km de côte sur la mer Méditerranée, elle est bordée à l'Est par la Tunisie, au Sud Est par la Libye, au Sud par le Niger et le Mali, au Sud-ouest par la Mauritanie et à l'Ouest par le Sahara Occidental et le Maroc. L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'atlas saharien. La variabilité climatique en Algérie est due essentiellement à la latitude, de Nord au Sud la variation du climat est très nette. L'humidité qui caractérise le climat méditerranéen est due essentiellement à la vapeur d'eau qui provient de la mer, mais aussi de la transpiration des végétaux (forêt bien développés). En allant vers les hautes plaines l'humidité diminue et l'ensoleillement augmente ce qui favorise l'évapotranspiration d'où le climat semi-aride. Plus au Sud, l'ensoleillement est très important et les apports en précipitation sont rares, l'humidité est très faible et la végétation quasiment absente sauf certaines espèces qui s'adapte à ce climat désertique. [14].

I.5.4.2. Les domaines bioclimatiques en Algérie :

L'Algérie se caractérise par la diversité du climat, de sorte qu'il existe différents climats répartis du nord au grand sud, qui sont les suivants :

1. Le domaine humide et subhumide : Cette région reçoit, en général, plus de 600 mm de précipitations, le nombre de mois secs ne dépasse pas 3 à 4 mois. Ce domaine comprend toute la zone côtière (surtout celle de l'Est) ainsi que l'ensemble montagneux de l'Algérie septentrionale.

2. Le domaine semi-aride : Dans cette région, les précipitations se raréfient et deviennent plus irrégulières : 400 à 600 mm (le plus souvent réparties entre 50 et 70 jours/an). La saison sèche peut se prolonger jusqu'à 5 et 6 mois.

3. Le domaine aride ou steppique : Cette région reçoit moins de 400 millimètres de précipitations par an. Le nombre de jours de pluies est compris entre 20 et 40. En réalité, les données moyennes, dans cette région, n'ont guère de significations, car le caractère marquant est

la succession d'irrégularités saisonnières et interannuelles, jalonnée par de sévères sécheresses cycliques.

4. Le domaine désertique : Cette région reçoit moins de 100 mm de pluies par an, il arrive qu'il ne pleuve pas pendant 12 mois consécutifs, les conditions climatiques y sont extrêmes. Les températures sont de plus en plus marquées par la continentalité et l'amplitude très forte. Dans la partie nord des déserts, les précipitations sont souvent des précipitations d'hiver ou de printemps, mais l'irrégularité saisonnière y domine. Près des basses latitudes (22° et en altitude), les pluies peuvent être d'été, traduisant ainsi la proximité avec la zone Tropicale. [15]

I.5.4.3. Climat dans la région d'Adrar :

Pour déterminer le climat de n'importe quelle région ou pays, nous devons étudier les facteurs de contrôle, que sont la température, l'humidité, les précipitations, la vitesse du vent ... etc. Afin de connaître la nature du climat de la région de l'Adrar, nous avons calculé la moyenne de la température, de l'humidité et de la vitesse du vent dans la wilaya Adrar pour les années 2010 à 2020 (10 ans) tirée du site de données de l'état d'Adrar, qui est détaillé comme pour la suite.

- **La Température :**

La wilaya Adrar, et parce que c'est une région désertique par excellence, elle se caractérise par une température élevée, surtout en été, qui atteint en août, par exemple, jusqu'à 50 °C.

Nous avons calculé la température moyenne pour les (10 ans) et il est indiqué dans le tableau suivant.

mois	Jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.
T(°c)	13.36	16.02	21.06	26.67	31.22	35.5	38.3	37.6	34.23	25.6	19.3	14.17

Tableau I.2 : La température moyenne du vent de la période entre (2010-2020)

- **L'humidité :**

Qu'est-ce que l'humidité ? L'humidité, dans un concept simple et facile, est la quantité de vapeur en suspension dans l'air. Lorsque la température augmente, nous avons un mouvement des particules qui composent l'air. Cela fait qu'il contient plus de vapeur car le mouvement de ces particules empêche le processus de condensation. Dans les zones où il y a des mers et des océans, le degré d'humidité qu'ils ont est grand, contrairement aux zones désertiques sèches, et

parce que la ville d'Adrar est l'une des régions désertiques du sud, l'humidité est légèrement basse, et nous remarquons ses changements représentés. Dans le tableau suivant pour les années (de 2010 à 2020).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
H(%)	31.8	25.4	20.4	17.4	14.6	12.03	10.7	13.7	20.4	25.7	32.16	37.12

Tableau I.3. : Humidité moyenne de l'air de période entre (2010-2020)

- **Le Vent :**

Le vent est un mouvement d'air pour un grand volume d'air, et il est généralement dans une direction d'un point de vue scientifique ou physique. Le vent se produit en raison de la différence de pression atmosphérique, car l'air se déplace de la région de haute pression vers la région de basse pression. En outre, la différence de température provoque une différence de pression de l'air, donc l'air froid provoque une pression élevée, tandis que l'air chaud provoque une basse pression, et lorsque l'air chaud monte vers le haut, l'air froid prend sa place, donc ce qu'on appelle le vent se produit. Dans le tableau suivant, les valeurs moyennes de la vitesse du vent sont données dans la région de l'Adrar.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
V(%)	18.3	19.7	21.02	21.13	21.3	19.8	20.8	21.5	18.3	18.37	17.7	19.26

Tableau I.4. : Vitesse moyenne du vent de la période entre (2010-2020)

En étudiant les changements de température de la Wilaya d'Adrar au cours des dix années de (2010 à 2020), nous constatons que la température dans la région augmente, étant une région désertique, atteignant son apogée en août (37,6%). Quant à l'humidité, elle est enregistrée à des degrés variables et moyens, la valeur la plus élevée étant en décembre en raison du temps froid (37,12). Les vitesses du vent dans la région de l'Adrar sont proches dans les mois de l'année, car elles sont connues et caractérisées par le vent, en particulier pendant les mois (mars, avril, mai).

Ainsi, la ville d'Adrar se caractérise par une température élevée, surtout en été, ses hivers sont parfois courts et froids, et elle se caractérise également par des moussons qui peuvent être utilisées dans la production d'énergie grâce à la mise en place de centrales éoliennes, telles comme celui de Kabertene.

I.6 Consommation énergétique

I.6.1 Consommation énergétique en Algérie

Dans le tableau ci-dessous, nous avons quelques valeurs de consommation énergétique algérienne selon des secteurs tels que l'industrie, la construction, l'agriculture, la population et autres pour les cinq dernières années de 2015 à 2018, extraites du site internet du ministère algérien de l'énergie :

Les années	2015	2016	2017	2018
Unité :	K tep	K tep	K tep	K tep
Industrie et BTP dont :	8 818	9 242	9 943	10 450
Matériaux de construction	3 786	4 065	4 370	4 659
ISMME	675	524	765	1 283
BTP	460	470	441	486
Industries manufacturières :	1 023	1 070	1 134	1 122
-(dont : Agroalimentaires)	909	953	1 011	1 011
Chimie	320	327	338	541
Autres industries	2 555	2 786	2 895	2 359
Transport, dont :	15 495	15 057	14 895	15 281
Routier	14 495	14 293	14 138	14 342
Aérien	476	482	496	608
Ménages et autres dont :	18 145	18 584	19 808	22 414
Résidentiel	13 925	14 196	15 003	17 637
Agriculture	406	416	440	362
TOTAL :	42 458	42 883	44 646	48 146

Tableau I.5 : Consommation finale par secteur.

En étudiant les données présentées dans le tableau, on constate que le secteur qui consomme le plus d'énergie est le secteur résidentiel ou les ménages, car on y retrouve un appauvrissement

énergétique important par rapport au secteur des transports et de l'industrie, et donc les personnes sont le seul responsable de la consommation de cette grande proportion d'énergie. La demande en est continue et à son apogée au fil des ans, de sorte que l'État utilise aujourd'hui des énergies renouvelables pour couvrir les besoins en énergie et en électricité des personnes car ce sont des énergies propres et non nocives pour l'environnement, comme l'énergie éolienne, dont les rendements atteignent l'objectif de 2 MW. Ce qui est considéré comme une très excellente solution, surtout si elle répond à la concurrence et à une forte demande pour son développement et se passer de ressources non durables et polluantes.

Dans le tableau suivant, quelques valeurs et évolution de la consommation nationale par forme d'énergie :

Les années	Unité	2015	2016	2017	2018	2019
Gaz naturel	(K tep)	79931	89731	22029	24982	25947
Produits pétroliers	(K tep)	15585	15782	15883	16105	16730
Electricité	(K tep)	53	80	17812	18337	18714
GPL	(K tep)	9753	9726	2361	2638	2860
Pétrole brut	(K tep)	54250	56193	1085	1151	1070
Condensâtes	(K tep)	10885	10449	23	28	27
Produits solides	(K tep)	6	6	48	90	67
Autres	(K tep)	263	310	341	1633	1486
TOTAL	(K tep)	154878	166184	59582	64964	66902

Tableau I.6 : consommation nationale énergétique

A partir ces résultats, nous concluons que le gaz naturel est la source la plus utilisée, suivi du pétrole, et cela est dû à ses nombreuses utilisations dans de nombreux domaines industriels et commerciaux.... etc.

I.6.2 Consommation énergétique à Adrar

Lors de notre visite à la société de distribution d'électricité et de gaz située dans l'État d'Adrar, nous avons obtenu des valeurs de consommation d'énergie pour l'État d'Adrar et ses environs.

Nous avons pris des valeurs liées à la région d'Adrar pour la consommation d'électricité et de gaz pour les cinq dernières années (2015_ 2020), qui sont énumérées dans les tableaux suivants.

I.6.2.1. La consommation du Gaz naturel

Le tableau ci-dessous présente la consommation de GAZ naturel et les achats effectués par la société au cours des cinq années suivantes :

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Conso Gaz(Th)	1368120	1505160	4846139	3111159	4846139	3111159
Achat Gaz (th)	7436972	7850605	12179324	13287003	12179324	13287003

Tableau I.7 :la consommation de gaz naturel et les achats

En ce qui concerne la consommation de gaz, des valeurs variables ont été enregistrées au cours des cinq dernières années de 2015 à 2020 qui sont quelque peu faibles, du fait de la non-utilisation du gaz de ville et de la satisfaction du gaz butane malgré sa disponibilité dans certaines régions de l'État. Il y a aussi des zones qui ne sont pas approvisionnées en gaz de ville, donc la consommation totale de gaz se situe au niveau de la ville d'Adrar elle-même.

I.6.2.2 Consommation énergétique d'électricité

Les valeurs de consommation d'électricité au niveau de la région d'Adrar et la consommation totale de l'état d'Adrar et de ses communes sont présentées dans le tableau suivant :

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Conso Electrique ville d'Adrar (KWh)	348.155×10 ⁶	379.94×10 ⁶	414.34×10 ⁶	42622452×10 ⁶	472.7×10 ⁶	514.1×10 ⁶
Achat électrique Total d'Adrar (kWh)	787.5×10 ⁶	8814.2×10 ⁶	968.7×10 ⁶	1015.2×10 ⁶	12563.9×10 ⁶	136.9×10 ⁶

Tableau I.8 : la consommation de l'électricité dans la ville d'Adrar

Dans ce qui suit, nous avons le nombre d'abonné de la région d'Adrar et aussi total de la wilaya :

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020
N° d'abonné ville d'Adrar	50463	54579	65889	60530	64186	69236
N° d'abonné total d'Adrar	135654	147096	153952	162826	171075	174236

Tableau I.9 : les nombre des abonnés consommateurs en Adrar

A Travers les valeurs indiquées dans le tableau qui represent la consommation d'électricité par la population, comme nous remarquons une augmentation continue de la consommation d'électricité en raison de l'augmentation de la population, ainsi que l'épuisement des entreprises et du public et les institutions privées et leurs domaines d'utilisation sont préparés au fur et à mesure que leur demande augmente avec le temps.

I.7. Conclusion :

L'énergie électrique est l'énergie la plus importante et la plus noble parmi toutes les autres formes d'énergies. Ainsi la proportion électrique par rapport à l'énergie totale consommée, ne cesse pas de croître, il faudrait pour cela pouvoir développer suffisamment les énergies renouvelables pour pouvoir diminuer la consommation absolue (et non relative) d'énergie fossiles ; les énergies renouvelables sont aussi parfois présentées comme une solution au problème de l'environnement. Ce chapitre nous a permis d'étudier solutions électrotechniques possibles pour la production d'énergie électrique grâce à des turbines éoliennes. Après un rappel de notions nécessaires à la compréhension du système de conversion de l'énergie éolienne, différents types d'éoliennes et leur mode de fonctionnement et ont été décrites les différents systèmes utilisés pour l'exploitation.

CHAPITRE II :
Modélisation énergétique d'un système éolien.

II.1. Introduction

Les exigences de plus en plus pointues de la technologie ont fait que les machines à aimant permanent sont de plus en plus utilisées plus particulièrement dans des applications industrielles exigeantes en encombrement et en puissance et aussi dans la production de l'énergie électrique. Les performances de ces structures peuvent être accrues en élaborant des modèles d'étude représentant le plus fidèlement possible leur comportement dynamique. Le travail qui nous a été assigné dans ce mémoire est l'étude et modélisation d'une machine synchrone à aimant permanent. Dans le but de commander ce système, il est nécessaire de donner son modèle mathématique en tenant compte de certaines hypothèses simplificatrices afin d'obtenir le modèle le plus simple que possible de la génératrice synchrone à aimants permanent dans la chaîne de production d'énergie éolienne. Nous attachons dans ce chapitre, à étudier et présenter la modélisation de génératrice synchrone à aimants permanent et ensuite la simulation de système éolien avec le logiciel MATLAB/Simulink.

II.2 Présentation de la chaîne éolienne

L'énergie du vent traverse la voilure qui est directement accouplée à la génératrice et permet la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique. Les composants électriques tels que convertisseurs statiques et éléments de filtrage disposés en aval de la génératrice ont un rôle d'adaptation active des caractéristiques de l'énergie électrique entre la génératrice et la charge finale. Ce niveau est aussi chargé du pilotage de l'ensemble et d'obtenir le point de fonctionnement à la puissance optimale. La charge, sous la forme d'un pack de batteries. Le schéma de l'éolienne étudiée dans ce travail est schématisé comme montré dans la Figure (II -1).

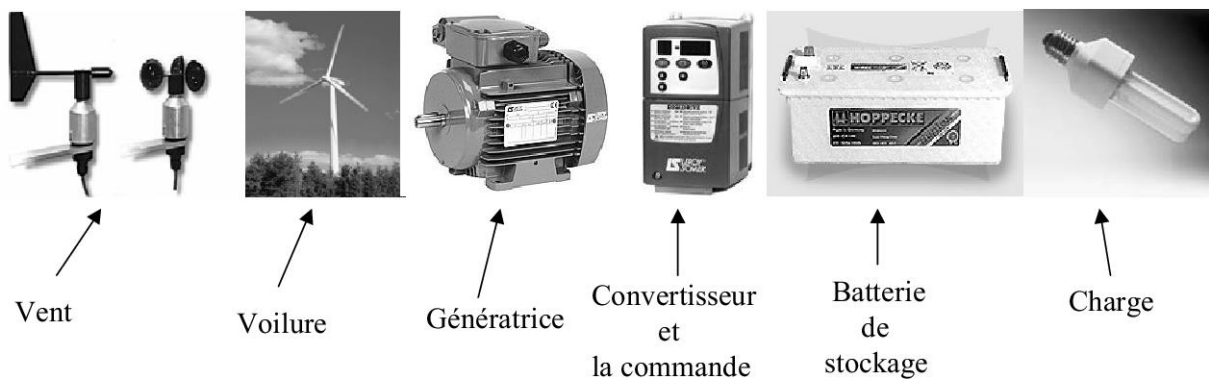


Figure II.1 : Schéma de la chaîne de conversion éolienne

II.3 Machine synchrone à aimants permanent

II.3.1 Généralités

Une des pièces maîtresses d'un système de conversion d'énergie dédié à une éolienne est la génératrice. [16] A chaque type de voilure, correspond une conception de la machine électrique. Elle dépend aussi de l'électronique de puissance en aval ainsi que du mode de pilotage de l'ensemble. Le terme de machine synchrone regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant. Pour obtenir un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique est généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. La position du champ magnétique rotorique est alors fixe par rapport au rotor, ce qui impose en fonctionnement normal une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant statorique [17].

Cette famille de machine regroupe en fait plusieurs sous familles, qui vont de l'alternateur de plusieurs centaines de mégawatts au moteur de quelques watts, en passant par les moteurs pas à pas. Néanmoins, la structure de toutes ces machines est relativement proche. Le stator est généralement constitué de trois enroulements triphasés répartis, tel que les forces électromotrices générées par la rotation du champ rotorique soient sinusoïdales ou trapézoïdales. Les stators, notamment en forte puissance, sont identiques à ceux d'une machine asynchrone.

Il existe trois grandes familles de rotor, ayant pour rôle de générer le champ d'induction rotorique, les rotors bobinés à pôles Saillants(a), ainsi que les rotors à aimants(b), Les rotors bobinés à pôles lisses(c). (Figure II 2).

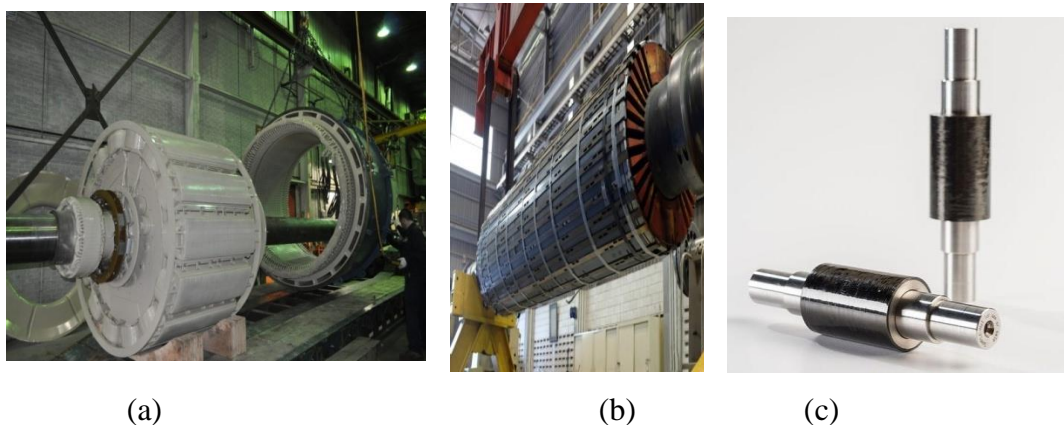


Figure II .2 : Types des rotors

II.3.2 Principes généraux

La machine synchrone se compose d'une partie mobile, celle qui tourne, appelée rotor ; et d'une partie fixe appelée stator. Le rotor se compose d'aimants permanents, ou d'électro-aimants (bobinages alimentés par un courant continu).

Pour produire du courant, on utilise une force extérieure pour faire tourner le rotor : son champ magnétique, en tournant, induit un courant électrique dans les bobines du stator. La vitesse de ce champ tournant et appelée « vitesse de synchronisme ».

Si l'on ne fait pas tourner le rotor par une force extérieure, celui-ci tournera seul : son champ magnétique s'alignera tour à tour sur chacune des trois bobines du stator. De décalage en décalage, cela provoquera la rotation du rotor. La fréquence de rotation (sa vitesse) est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique [18].

Le développement des matériaux magnétiques a permis la construction des machines synchrones à aimants permanents à des coûts qui deviennent compétitifs. Les machines de ce type sont à grand nombre de pôles et permettent de développer des couples mécaniques considérables]. Il existe plusieurs concepts de machines synchrones à aimants permanents dédiées aux applications éoliennes, des machines de construction standard (aimantation radiale) ou génératrices discoïdes (champs axial), ou encore à rotor extérieur, Le couplage de ces machines avec l'électronique de puissance devient de plus en plus viable économiquement, ce qui en fait un concurrent sérieux des génératrices asynchrones à double alimentation. L'inconvénient majeur de l'utilisation de la GSAP est le coût des aimants utilisés. Toutefois certains d'entre eux sont réalisés à l'aide de terres rares et sont par conséquent très coûteux, bien que leur utilisation de plus en plus fréquente tende à faire baisser leur prix. De plus, les variations importantes de couples électromagnétiques qui peuvent avoir lieu dans un système éolien risquent d'entraîner une démagnétisation des aimants lorsqu'ils sont constitués de matériaux classiques. [19]

II.3.3 Structure d'une MSAP

Les machines synchrones ont une puissance massique plus importante et flux rotorique étant connu il est plus facile de maîtriser le couple. Les progrès fait dans la fabrication des aimants, qu'ils soient base d'alliages métalliques ou de terre rares font qu'aujourd'hui l'utilisation des

MSAP va croissante. Au plan technologique les aimants peuvent être surfaciques ou placés dans la profondeur du rotor, ils sont dits alors enterrés

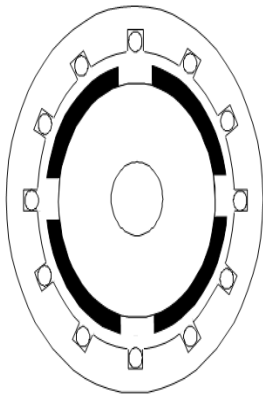


Figure II .3 : *Machines à aimants*

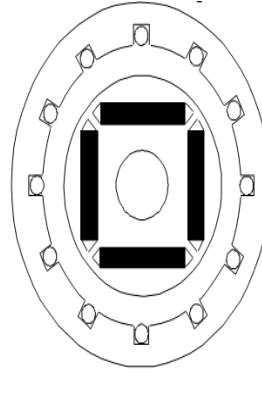
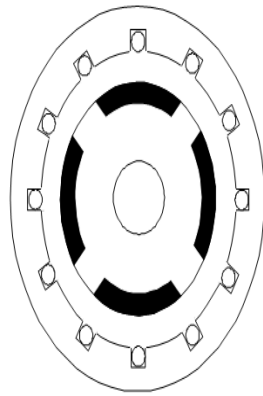
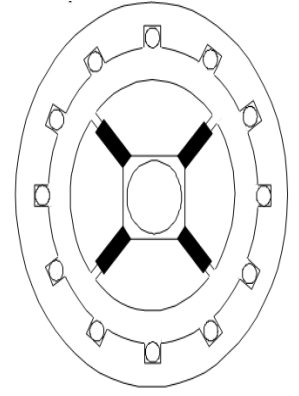


Figure II .4 : *Machines à aimants*



Il existe deux structures de la MSAP selon la disposition des aimants avec les matériaux magnétiques : l'une avec pièce polaires et l'autre sans pièces polaires

II.3.3.1 MSAP sans Pièces Polaires

Dans ce cas, les aimants sont en forme de tuile ou en barreaux élémentaires juxtaposés, sont directement fixés sur la surface du rotor grâce à des frettes. Le sens d'aimantation peut être radial, tangentiel ou mixte

a) Aimantation radiale :

Les aimants de types alnico ou ferrite sont bien adaptés à cette structure, l'entrefer peut être considéré comme constante (machine à pôles lisses), le flux dans celui-ci est faible, cette structure est essentiellement utilisée dans les machines synchrones de petite puissance. [19]

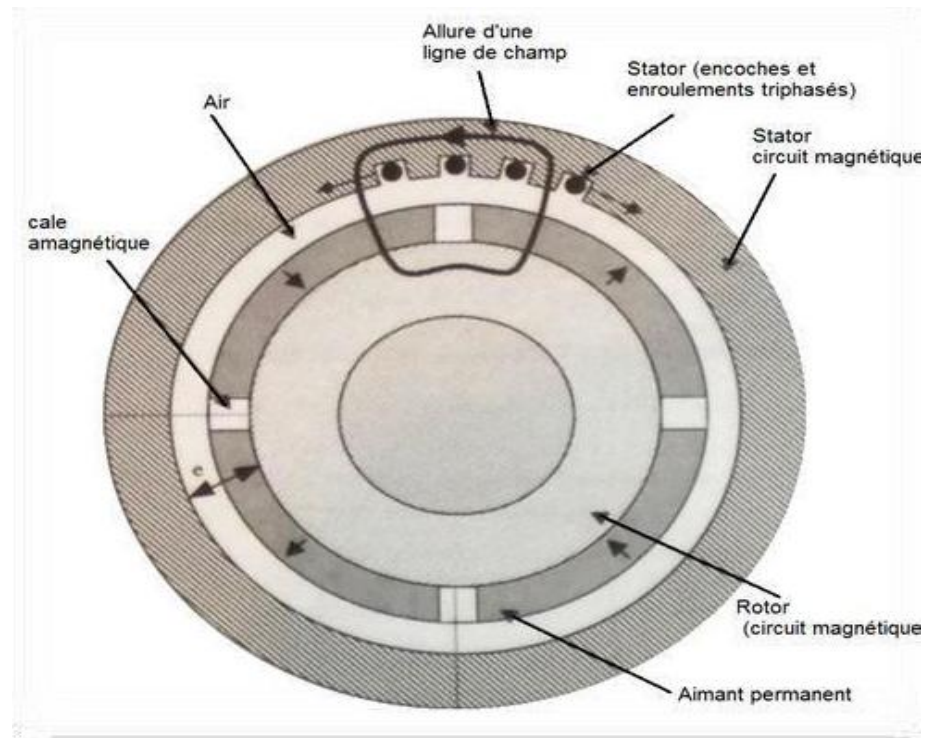


Figure II.5 : MSAP sans Pièces Polaires Aimantation radiale

b) Aimantation tangentielle :

En utilisation des aimants à aimantation tangentielle, on peut réaliser des machines à induction sinusoïdale. La machine est à pôles lisses, l'induction est faible dans l'entrefer et le couple reste faible. [19, 20]

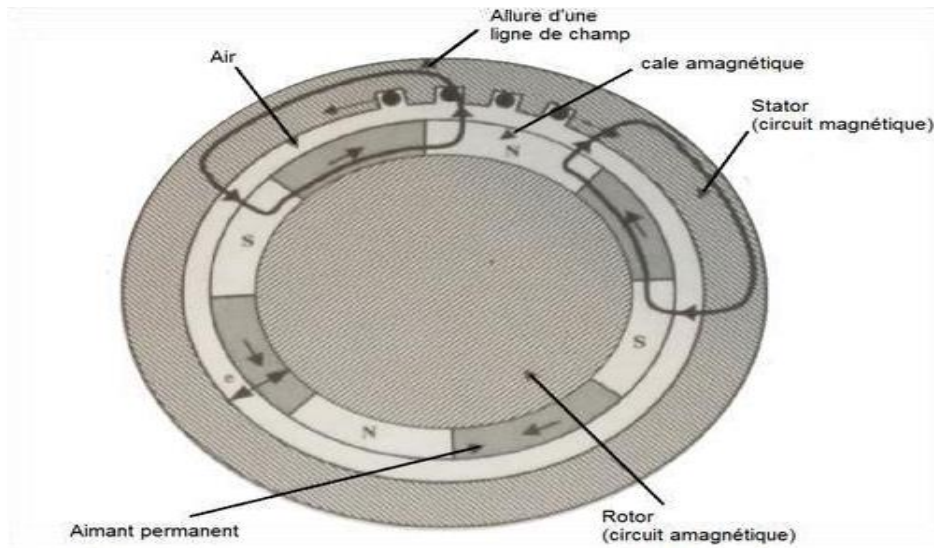


Figure II.6 : MSAP sans Pièces Polaires Aimantation tangentielle

II.3.3.2 MSAP avec Pièces Polaires

Les pièces polaires permettant également de fixer les aimants sans avoir à utiliser des frettes et de réduire de façon significative l'épaisseur équivalente de l'entrefer ainsi que le volume des aimants par rapport aux structures sans pièces polaires. Les aimants ferrites et à terres rares peuvent être utilisés [20, 21].

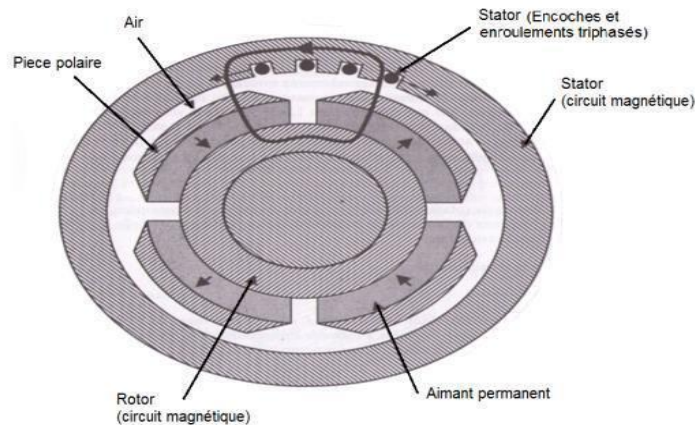


Figure II.7 : MSAP avec pièces polaires

II.3.4 Avantages et inconvénients de la MSAP

La machine synchrone à aimants permanents présente un certain nombre d'avantages à savoir :

- Une dynamique de la vitesse ; faible inertie du rotor donc faible constante de temps mécanique.
- Suppression des contacts glissants et donc possibilité de travailler en air corrosif.
- Meilleures caractéristiques thermiques ; la localisation des pertes joules et des pertes fer au stator simplifie le refroidissement de la machine.
- Puissance massique et rendement importants.
- Robustesse incontestée par rapport au moteur à courant continu.

Ces avantages ont poussé son développement afin de répondre aux exigences grandissantes de positionnement et d'entraînements à performances élevées. Cependant l'inconvénient de ne pas avoir accès au réglage du courant inducteur rend difficile le fonctionnement en survitesse [22].

II.3.5 Transformation de PARK

Pour contourner cette difficulté, on introduit la transformation de PARK qui permet le passage d'une machine triphasée alimentée en alternatif et produisant un champ magnétique tournant à un modèle biphasé lié au rotor de grandeurs électriques continues permettant de produire le même champ (FigureII -11) [23].

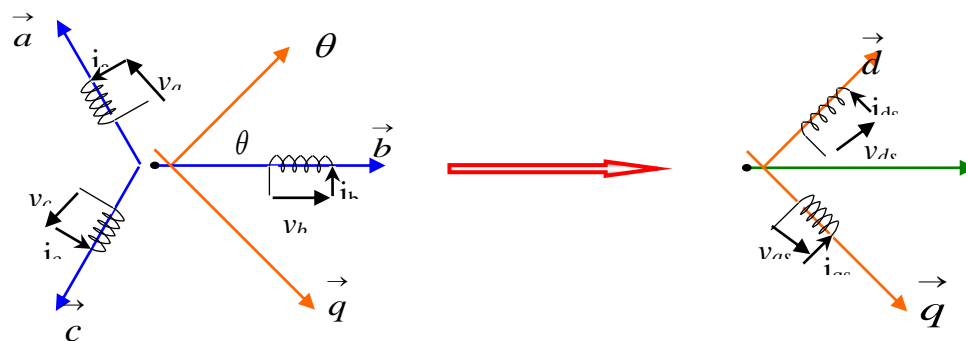


Fig. II.8 Passage de repère triphasé (abc) au diphasé (dq).

On note que :

- d, q : Indices des composantes de Park directe et en quadrature.
- $P(\theta)$: Matrice de passage de Park.

La matrice de passage notée $P(\theta)$ est la suivante :

$$P(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II-1})$$

II.3.5.1 Passage direct : du triphasé au biphasé

L'équation qui traduit le passage du système triphasé au système diphasé (dq) est donnée par :

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} = [P(\theta)] \cdot \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (\text{II-2})$$

Où: X représente les variables considérées de la machine qui sont tensions, courants ou flux.

II.3.5.2 Passage inverse : du diphasé au triphasé

La transformée de Park inverse est nécessaire pour revenir aux grandeurs triphasées, elle est définie par:

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = [P(\theta)]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} \quad (\text{II-3})$$

La transformation inverse de PARK est la suivante :

$$[P(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II-4})$$

II.3.6 Modélisation de la MSAP dans le repère de Park

La transformation de PARK s'exprime par la relation suivante :

$$[X_{dq0}] = P(\theta) \cdot [X_{abc}] \quad (\text{II-5})$$

L'indice « 0 » désigne la composante homopolaire, direct et quadrature.

II.3.6.1 Equations électriques

La machine triphasée est équilibrée et symétrique avec neutre isolé alors la composante homopolaire est nulle. Les équations électriques sont les suivantes :

$$\begin{cases} V_d = R_s \cdot I_d + L_d \frac{d I_d}{dt} - L_q \omega \cdot I_q \\ V_q = R_s \cdot I_q + L_q \frac{d I_q}{dt} + L_d \omega \cdot I_d + \phi_f \omega \end{cases} \quad (\text{II -6})$$

Où : L_d : Inductance suivant l'axe (d)

L_q : Inductance suivant l'axe (q)

II.3.6.2 Equation électromagnétique

La connaissance du couple électromagnétique de la machine C_{em} est essentielle pour la commande de la machine. L'expression du couple électromagnétique est donnée par la relation suivante :

$$C_{em} = k P (\phi_d I_q - \phi_q I_d) \quad (\text{II-7})$$

Où k prends les valeurs 1 ou 1,5, en fonction de la façon dont est réalisée la transformation de Park (pour notre cas, k=1.5).

En utilisant la relation entre flux et courants :

$$\begin{cases} \phi_d = L_d \cdot I_d - \phi_f \\ \phi_q = L_q \cdot I_q \end{cases} \quad (\text{II -8})$$

Puis en remplaçant (II -8) dans (II-7), on trouve l'équation suivant :

$$C_{em} = P \cdot [(L_d - L_q)I_d \cdot I_q + \phi_f \cdot I_q] \quad (\text{II -9})$$

II.3.6.3 Calcul de puissance

La puissance instantanée $P(t)$ qui s'écrit pour le stator dans le repère (d, q) :

$$P(t) = V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q \quad (\text{II.10})$$

Par ailleurs, la puissance électrique absorbée s'exprime par

$$P(t) = R_s(I_d + I_q) + \left(I_d \frac{d\phi_d}{dt} + I_q \frac{d\phi_q}{dt} \right) + (I_q \phi_d - I_d \phi_q) \omega \quad (\text{II.11})$$

- Le premier terme représente les pertes joules dans l'induit.
- Le deuxième terme représente la variation par unité de temps de l'énergie magnétique emmagasinée.
- Le troisième terme représente la puissance électrique transformée en puissance mécanique à l'intérieur de la machine.

II.4 Modélisation de système éolienne

II.4.1. La modélisation de vent

La conclusion logique et déterministe de la production d'énergie électrique est la capacité du vent à convertir l'énergie cinétique en énergie mécanique de rotation, donc les propriétés aérodynamiques des turbines utilisées doivent être étudiées la formule de vitesse de vent :

$$V_{vent} = A + \sum_{k=1}^i a_k \sin(\omega_k \cdot t) \quad (\text{II.12})$$

ω_k : Fréquence des harmoniques

a_k Amplitude des harmoniques

La vitesse de vent est représentée par la fonction

$$V(t) = 10 + 0.2 \sin(0.1047t) + 2 \sin(0.2665t) + \sin(1.293t) + 0.2 \sin(3.6645t) \quad (\text{II.13})$$

II.4.2. Modélisation de la turbine éolienne

Comprendre l'énergie de l'air que nous utilisons dans la turbine est basée sur la loi de Betz, ainsi que sur la loi de Newton, étant donné que nous avons un cylindre à vide dans lequel l'air peut entrer à partir de s_1 à sortir de s_2

$m = \rho \cdot \text{Volume} = \rho \cdot s \cdot \text{Longueur} = \rho \cdot S \cdot V$

$$S_1 V_1 = S V = S_2 V_2 \quad (\text{II.14})$$

$$V = \frac{(V_2 + V_1)}{2}$$

La turbine utilisée dans le cadre de notre travail, est une éolienne suivant à axe horizontal (Figure II.10)

Selon le deuxième principe de Newton, nous trouvons que l'énergie consommée par ce système est la différence de l'énergie interne au système par rapport à l'énergie produite par le système, nous obtenons donc une énergie moyenne

$$P_{aero} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_1^2 - V_2^2) \Rightarrow P_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (II.15)$$

On définit le rapport entre les deux puissances

$$C_p = \frac{P_{aero}}{P_v} \quad (II.16)$$

Le coefficient de puissance C_p représente le rendement aérodynamique de la turbine

$$C_p = \frac{(1 - \frac{V_1}{V_2})(1 - \frac{V_1}{V_2})^2}{2} \quad (II.17)$$

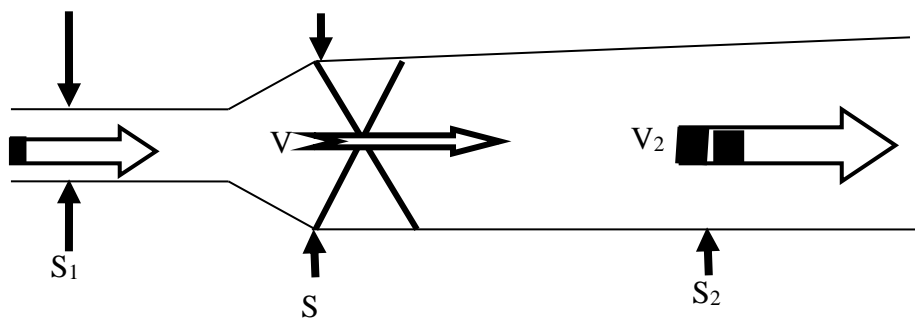


Figure II.9: Veine d'air sur une éolienne.

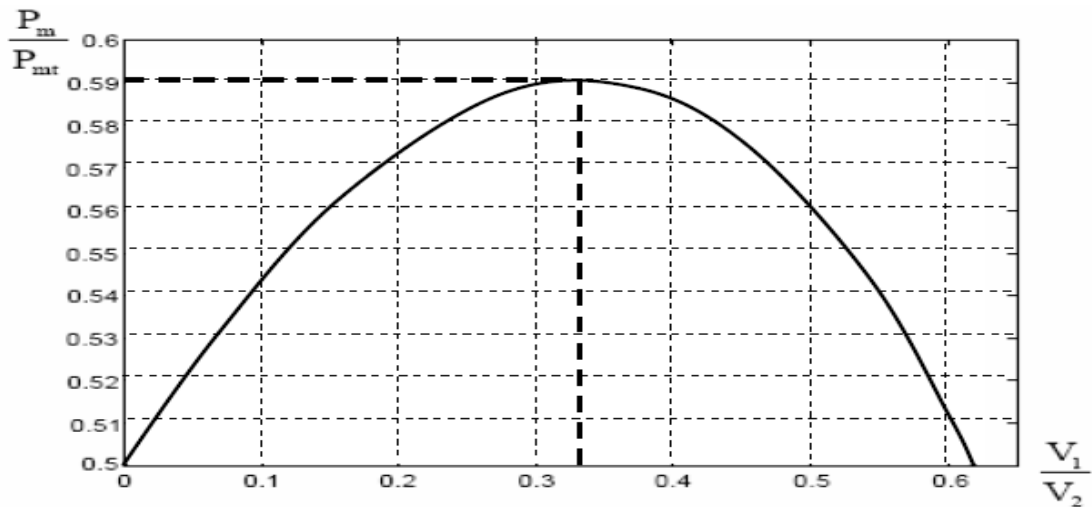


Figure II.10 : Coefficient de puissance C_p en fonction de vitesse spécifique

Les limites de Betz indiquent que la puissance de ce système ne dépasse pas 16/27 pour l'énergie éolienne, ce qui signifie que nous trouvons une valeur de C_p jusqu'à 0.59 comme valeur maximale

La puissance du vent :

$$P_V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (\text{II.18})$$

La puissance de l'aérogénérateur

$$C_p = \frac{P_{aero}}{P_v} \rightarrow P_{aero} = C_p \cdot P_v \quad (\text{II.19})$$

$$P_{aero} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (\text{II.20})$$

A partir de là nous obtenons les formes rentables en fonction de chacune de nos turbines et de leur méthode de fabrication, de sorte que C_p est lié λ (la vitesse spécifique) et β , et ce dernier exprime l'angle de rotation des aubes soi définie par :

$$\lambda = \frac{\Omega_t \cdot R_t}{V} \quad (\text{II.21})$$

Ω_t : vitesse de rotation de la turbine

R_t : Rayon des pales (m)

V : vitesse moyenne du vent

La modalisation de la turbine les pales doivent être de conception identique avec la même flexibilité et le même frottement, et la vitesse du vent doit être répartir sur toutes les pales.

Module multiplicateur

Le rôle du multiplicateur double la vitesse provenant de turbine à une double vitesse, ce qui s'exprime dans une relation mathématique, qui est

$$\Omega_{mec} = G \cdot \Omega_t \quad (\text{II.22})$$

$$C_g = \frac{1}{G} C_t \quad (\text{II.23})$$

Avec Ω_{mec} la vitesse de la génératrice

Equation dynamique de l'arbre

$$J_{total} = J_g + G^2 \cdot J_t \quad (\text{II.24})$$

Il est à noter que l'inertie du rotor de la génératrice est très faible par rapport à l'inertie de la turbine reportée par cet axe.

L'équation fondamentale de la dynamique permet de déterminer l'évolution de la vitesse mécanique à partir du couple mécanique total C_{total} appliqué au roto

$$\left\{ \begin{aligned} C_{total} &= J_{total} \frac{d\Omega_{mec}}{dt} \\ C_{total} &= C_g - C_{em} - C_f = J_{total} \frac{d\Omega_{total}}{dt} \\ C_{total} &= C_g - C_{em} - \Omega_{mec} f = J_{total} \frac{d\Omega_{total}}{dt} \quad (II.25) \\ C_{total} &= C_g - C_{em} - \Omega_{mec} f = J_{total} \cdot S \cdot \Omega_{mec} \end{aligned} \right.$$

Avec :

C_g : couple multiplicateur

C_{em} : Couple électromagnétique

$C_f = \Omega_{mec} f$: Couple du frottement visqueux

Nous résumons les relations sportives précédentes dans un schéma suivant:

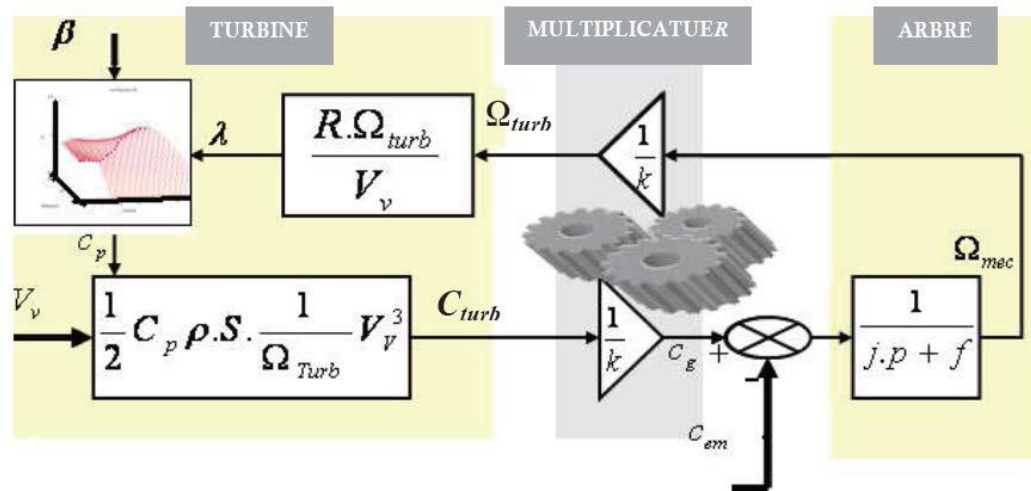


Figure II.11 : schéma bloc du modèle de la turbine

II.5 Modélisation de la GSAP

La machine que nous étudions comprend un inducteur à aimants permanents et un induit muni d'un bobinage triphasé connecté en étoile sans neutre. La machine est symétrique et équilibrée, la somme instantanée des courants de phase est nulle, par conséquent, la composante homopolaire du courant est nulle [26].

Les aimants de la machine sont disposés sur la surface du rotor, il s'agit d'aimant de terre rare de très grande résistivité ainsi les courants induits dans le rotor sont négligeables.

Afin de simplifier l'étude, la modélisation de la machine nécessite certaines hypothèses simplificatrices :

- L'effet de la saturation du circuit ferromagnétique est négligeable
- Les pertes fer et l'effet amortisseur sont négligés.
- Les pertes par hystérésis et par courant de Foucault sont négligées.
- La distribution de la force magnétomotrice du stator est supposée sinusoïdale.
- L'effet de peau et celui de la température sur les résistances sont négligés.

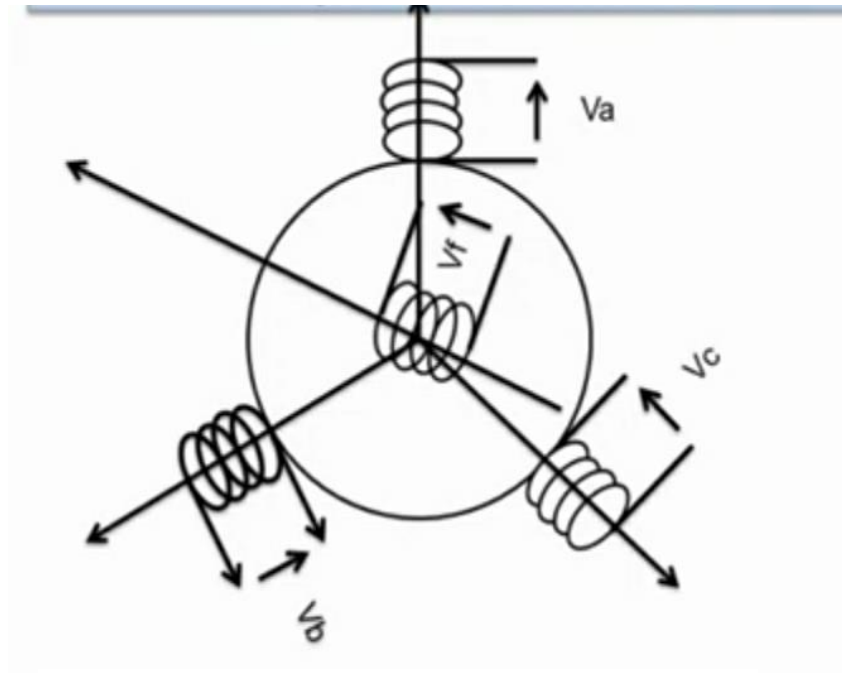


Figure II.12 : Machine équivalente de la GSAP

La machine synchrone à aimants permanents est représentée par la figure (**Figure II.10**). Elle se compose de trois enroulements statoriques décalés entre eux de $(2\pi/3)$, et des aimants permanents qui créent l'excitation au rotor.

II.5.1. Equation électrique

Les tensions, flux et courants statoriques triphasés, sont écrits avec les notations vectorielles suivantes respectivement : $[V_s]$, $[\varphi_s]$ et $[I_s]$.

$$[V_s] = [R_s][I_s] \frac{d[Q_s]}{dt} \quad (\text{II-26})$$

$$[\varphi_s] = [L_s][I_s] + [Q_{sf}] \quad (\text{II-27})$$

D'où :

$$[L_{ss}] = [L_{s0}] + [L_{sv}] \quad (\text{II-28})$$

Avec :

$[V_s] = [V_a V_b V_c]^T$: Vecteur Tensions Statoriques.

$[I_s] = [I_a I_b I_c]^T$: Vecteur courants statoriques.

$[\varphi_s] = [\varphi_a \varphi_b \varphi_c]^T$: Vecteur Flux statoriques

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} : \text{Matrice résistances du stator.}$$

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c \end{bmatrix} : \text{Matrice inductance du stator}$$

$$[\varphi_s] = Q_{sf} \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} : \text{Vecteur flux engendré par l'aimant}$$

La relation entre flux et courants sous forme réduite s'écrit :

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\varphi_s] \quad (\text{II-29})$$

Où :

$$R_s = R_a = R_b = R_c \quad (\text{II-30})$$

S'écrit :

$$[\varphi_s] = [L_s] \cdot [I_s] + [\varphi_f] \quad (\text{II-31})$$

II.4.2 Equation mécanique

L'équation mécanique de la machine est donnée par :

$$J \frac{d\omega}{dt} = P (C_m - C_{em}) - F\omega \quad (\text{II-32})$$

$$\text{Et } \omega = P \cdot \Omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{II-33})$$

Avec :

C_{em} : Couple électromagnétique (couple moteur).
 C_m : Couple moteur appliqué sur la génératrice (couple résistant).
 F : Coefficient de frottement.
 J : Moment d'inertie.
 P : Nombre de paires de pôles.

On voit bien que les systèmes d'équations est à coefficients variables en fonction de θ . Sa résolution analytique dans ce repère reste très difficile.

II.6 Modélisation de la charge

Le facteur de charge d'une unité de production d'électricité est le rapport entre l'énergie produite pendant une période donnée et l'énergie produite pendant cette période si elle continue à fonctionner à puissance constante. Il fournit des instructions importantes pour le calcul de la rentabilité des équipements électriques. Le facteur de charge varie d'une unité de production à l'autre, en fonction:

- Énergie (par exemple, si elle est intermittente)
- Le niveau d'utilisation de l'unité de production (par exemple: si la demande de puissance est trop faible ou si une maintenance est requise, la production est forcée d'arrêter ou la production est limitée)
- Son emplacement (par exemple: ensoleillement dans la zone des panneaux solaires, vitesse du vent des éoliennes). Le temps de calcul du facteur de charge de référence est généralement d'un an. Cela signifie en pourcentage.

“Prenons, par exemple, une éolienne de 2 MW de puissance nominale. Sachant qu'une année correspond à 8 760 h, cette éolienne pourrait, en théorie, produire au maximum : 8 760 h x 2 MW = 17 520 MWh (soit 17,52 GWh).

Si l'éolienne considérée produit dans les faits près de 4 000 MWh en un an, son facteur de charge est égal à: $4\ 000 / 17\ 520 = 22,8\%$ “[9]

Le générateur produit une charge électrique (tension et la courant) pour obtenir le courant applique au générateur, Il faut travailler sur les données par:

$$\begin{cases} V_d = -R_s \cdot I_d - L_d \frac{dI_d}{dt} + L_q \omega \cdot I_q \\ V_q = -R_s \cdot I_q - L_q \frac{dI_q}{dt} - L_d \omega \cdot I_d + \phi_f \omega \end{cases} \quad (\text{II-34})$$

D'autre parte, l'application des tensions V_d et V_q sur la charge donne:

$$\begin{cases} V_d = R_{ch} \cdot I_d - L_{ch} \frac{dI_d}{dt} + L_{ch} \omega \cdot I_q \\ V_q = R_{ch} \cdot I_q - L_{ch} \frac{dI_q}{dt} - L_{ch} \omega \cdot I_d \end{cases} \quad (\text{II-35})$$

En remplaçant les expressions de V_d et V_q dans (2) obtenir elle système suivant :

$$\begin{cases} \frac{dI_d}{dx} = \frac{1}{L_d + L_{ch}} [(R_s + R_{ch}) \cdot I_d + \omega(L_q + L_{ch}) \cdot I_q \\ \frac{dI_q}{dx} = \frac{1}{L_d + L_{ch}} [(R_s + R_{ch}) \cdot I_q + \omega(L_q + L_{ch}) \cdot I_d + \omega \phi_f \end{cases} \quad (\text{II-36})$$

On cherche à obtenir un système d'équation d'état

$$[X] = [A][X] + [B][U]$$

$$[X] = [I_d \quad I_q]^t \cdot [U] = [0 \quad \phi_f]^t \quad (\text{II-37})$$

On peut écrire la matrice [A] comme suite:

$$[A] = [A_1] + \omega [A_2]$$

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{R_s + R_{ch}}{L_d + L_{ch}} & 0 \\ 0 & -\frac{R_s + R_{ch}}{L_q + L_{ch}} \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} 0 & -\frac{L_q + L_{ch}}{L_d + L_{ch}} \\ -\frac{L_d + L_{ch}}{L_q + L_{ch}} & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II-38})$$

Et la matrice [B] sous forme :

$$[B][U] = \omega \frac{1}{L_q + L_{ch}} \begin{bmatrix} 0 \\ \phi_f \end{bmatrix} \quad (\text{II-39})$$

II. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation et la modélisation de la machine synchrone à aimants permanent, pour cela nous avons donné un bref aperçu sur la machine synchrone ; son principe de fonctionnement ainsi que les différentes structures des machines. Nous avons donné le modèle mathématique de la machine.

CHAPITRE III :

Simulation de système éolien globale

III.1 Introduction

Après nous avons abordé la présentation et l'étude détaillée de l'énergie éolienne, en plus de la modélisation énergétique du système éolien. Dans ce chapitre, nous allons faire une simulation de ce système dans le cadre du programme MATLAB / Simulink. A travers lui, nous simulerons les modèles d'éoliennes en charge et en vide. Nous simulerons également les principaux composants des éoliennes en général depuis la turbine et la générateur (GSAP) jusqu'à La charge, où nous travaillerons à convertir les équations auxquelles nous sommes parvenus au chapitre 2 aux modèles et schémas dans Simulink.

III.2. Généralités

Dans ce chapitre nous allons simuler le système éolien avec ses différentes composantes en résolvant la connaissance de l'évolution de plusieurs variables lors du travail de l'éolien et la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique lors de la rotation de l'éolienne vers le haut au travail du générateur et de la charge.

Les paramètres sur lesquels nous nous sommes appuyés pour faire cette modélisation sont présentés dans le tableau suivant :

Les Paramètre	Les Valeurs
Nombre de paires de pôles [p]	3
Résistance en charge [Rch]	50Ω
L'inductance en charge [Lch]	0.002 H
Résistance statorique [Rs]	0.895 Ω
L'inductance statorique direct [Lsd]	0.012 H
L'inductance statorique quadrature [Lsq]	0.0211 H
Coefficient de frottement	0.9
Le flux	0 W/m
L'inerte	0.00141H

Tableau III.1 : les paramètres Utilisés pour Simulation

III.3.Simulation de turbine éolienne

Afin de valider nos résultats en modélisation de turbine à l'aide d'équations mathématiques, dans ce chapitre, nous simulons ce modèle dans le logiciel Simulink sur MATLAB et présentons les résultats sous forme de courbes illustrées ci-dessous.

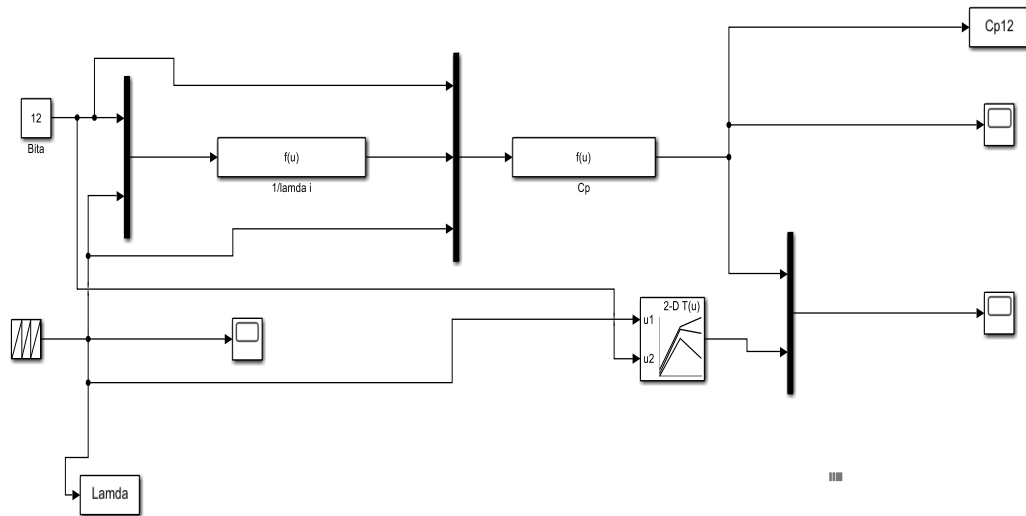


Figure III.1 : Schéma bloc du modèle de Turbine sous Simulink

Nous obtenons une courbe qui montre les changements et la trajectoire du vent.

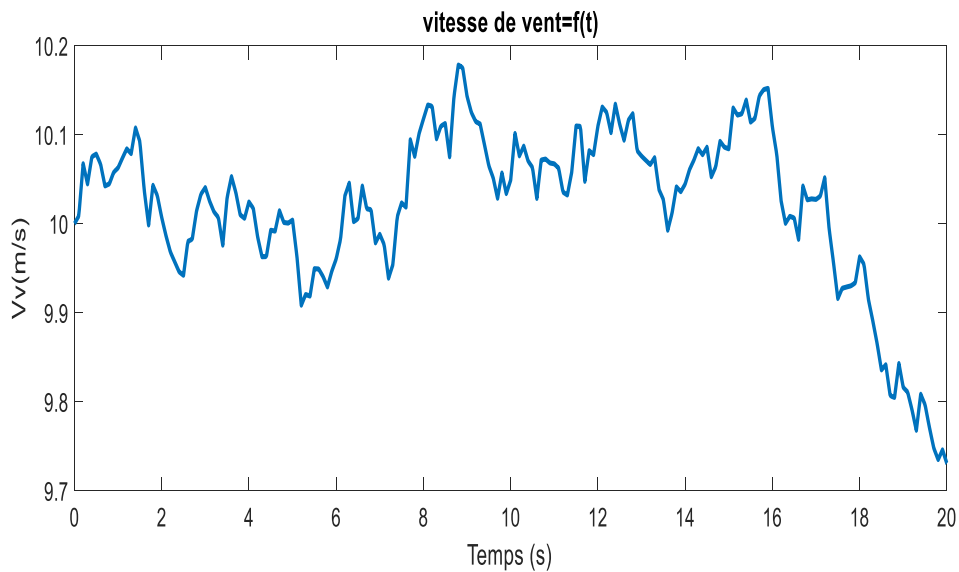


Figure III.2 : Variation de vitesse de Vent

Où à travers elle, nous trouvons que le vent est des ondes d'air instables qui changent constamment et ne peuvent pas être contrôlées, mais dans le programme Simulink nous imposons un système qui s'exprime grossièrement afin de le simuler.

Après avoir réalisé un modèle de simulation de turbine, nous modifions les valeurs de C_p et β à chaque fois pour déterminer la plus grande valeur pouvant être atteinte, qui est représentée sur la figure (Figure III.3).

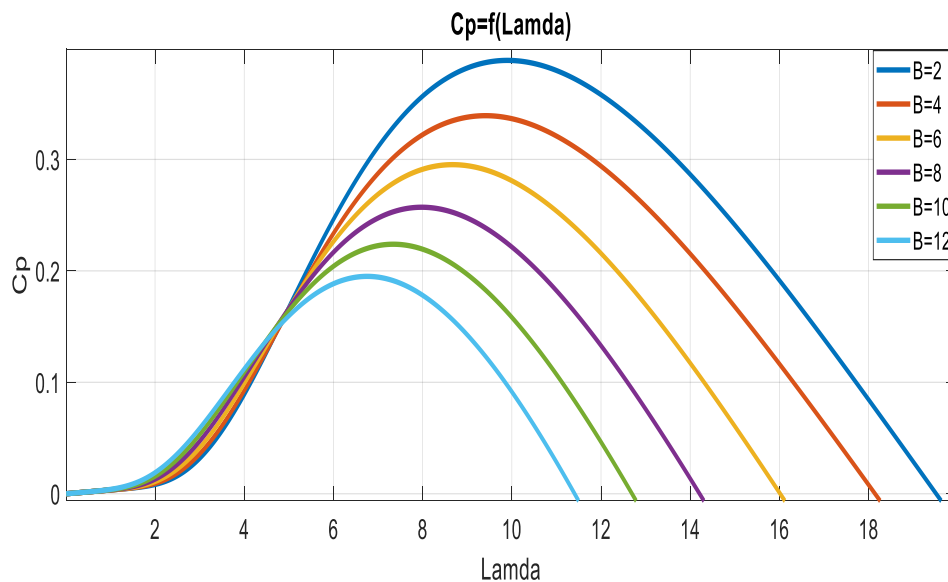


Figure III.3: courbe montre la variation de $C_p=f(\text{Lamda})$

Par conséquent, plus la valeur de β est élevée, plus la valeur du coefficient de puissance (C_p) est faible et plus Lamda diminue avec lui... c'est-à-dire qu'il existe une relation inverse entre β et C_p

III.4. Simulation de La Génératrice

Nous avons donc un modèle pour la Génératrices vide et en charge

III.4.1.Simulation de La Génératrice en vide

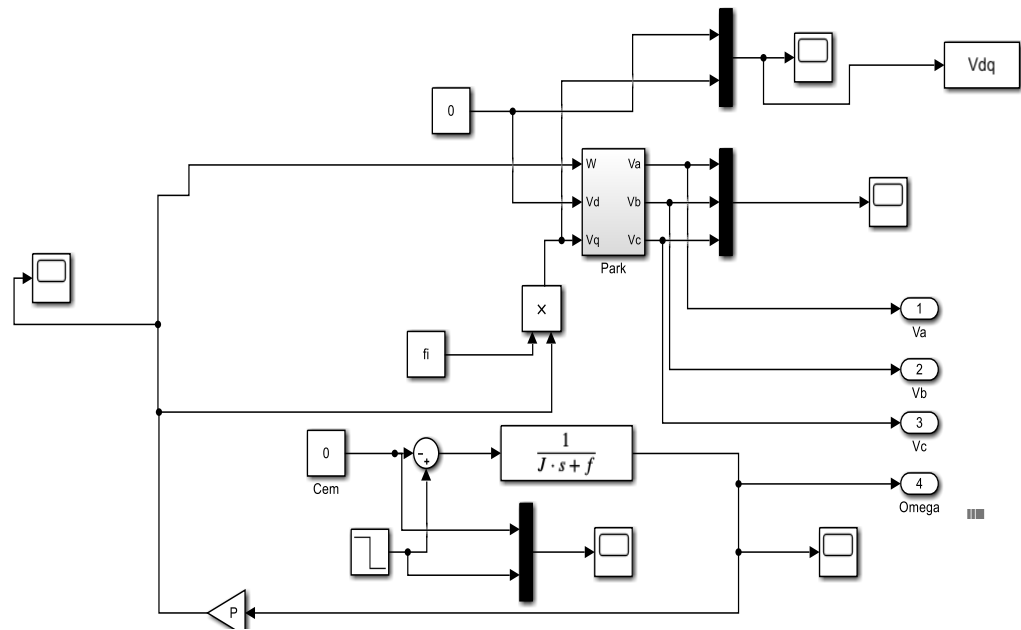


Figure III.4: Schéma bloc du modèle de la génératrice en vide

Le fonctionnement à vide est caractérisé par des courants nuls

$I_d=0$

$I_q=0$

Ensuite nous avons une simulation de la turbine éolienne en charge, afin d'obtenir les tensions (abc) ainsi que la (V_d et V_q)

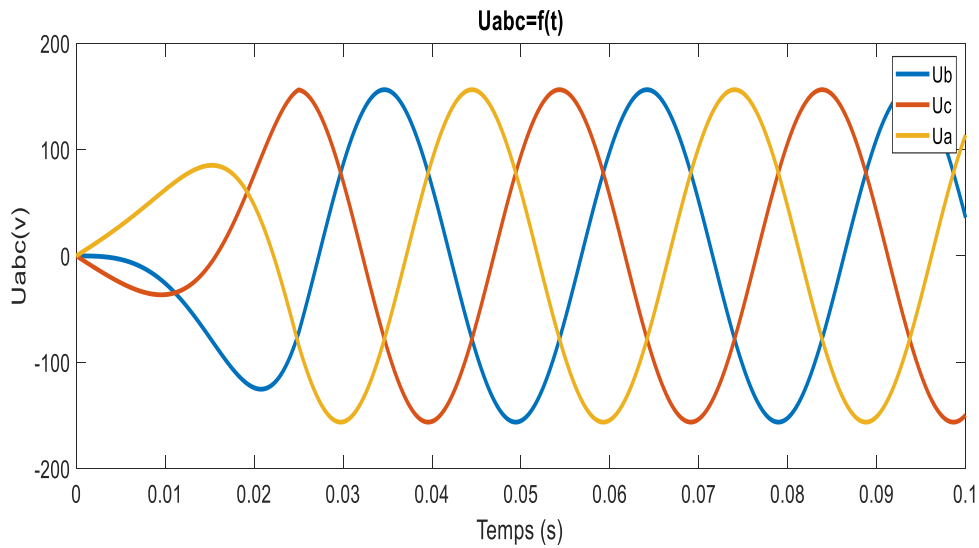


Figure III.5: Variation des tensions Statorique

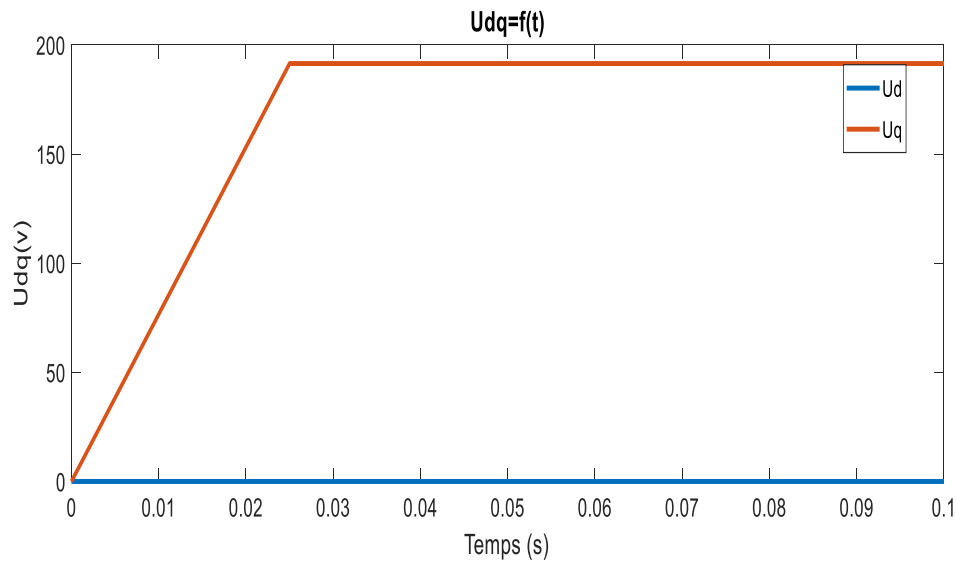


Figure III.6 : Variation des tensions V_d et V_q

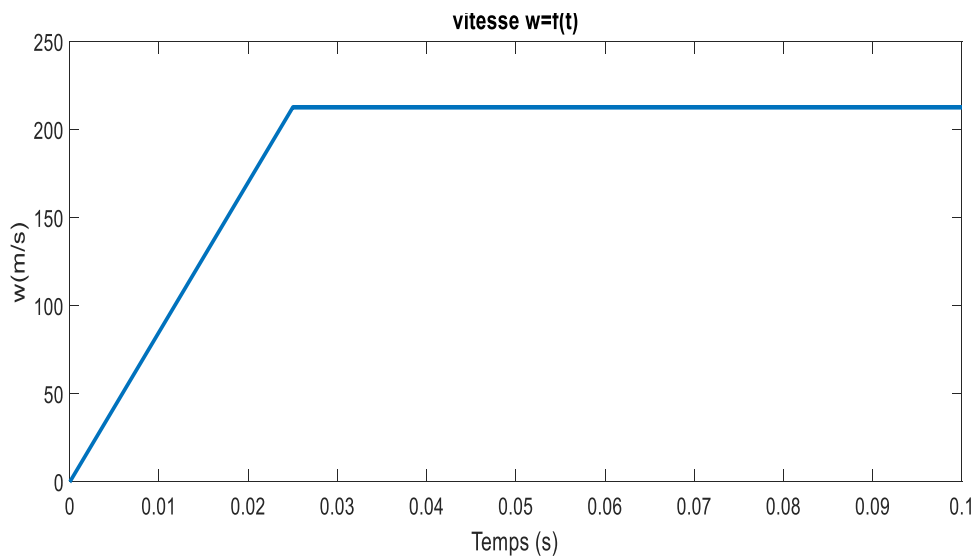


Figure III.7 : La variation de vitesse de Rotation(w) en Vide

Pour Simulation de génératrice en vide ... Pour que le courant soit nul. Nous avons les tensions statoriques représentées sur la figure (III.5) sont des courbes Sinusoïdales. Chacune de ces tensions part d'une valeur de zéro à une valeur maximale de 150 volts et une valeur minimale de -150 volts à travers la période de 0 à 0,04 et répète le même processus.

Comme pour les tensions V_d et V_q représentées sur la figure (III.6), alors V_q augmente jusqu'à la valeur maximale (190 volts) et se fixe alors. Quant à la tension V_d , elle est nulle le long de la courbe car I_d et I_q est nul selon l'équation :

$$V_d = R_s \cdot I_d + L_d \frac{dI_d}{dt} - L_q \omega \cdot I_q$$

Enfin on a la vitesse de rotation W Sur la figure (III.7), on remarque qu'elle augmente de zéro à 220 m/s et reste constante à cette valeur car elle augmente avec l'augmentation de la vitesse du vent et est aussi lié à la rotation de la Multiplicateur.

III.4.3. Simulation de La Génératrice en charge

Nous avons un modèle pour la Génératrice avec une charge dans le programme de Simulink :

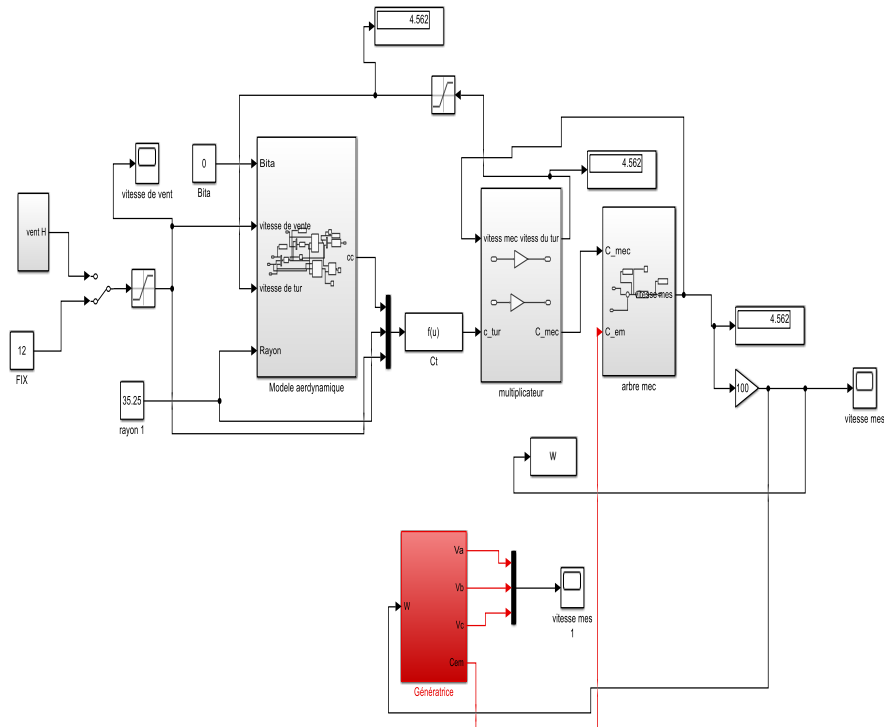


Figure III.8 : Schéma bloc du modèle de la Génératrice en charge

On a donc les résultats :

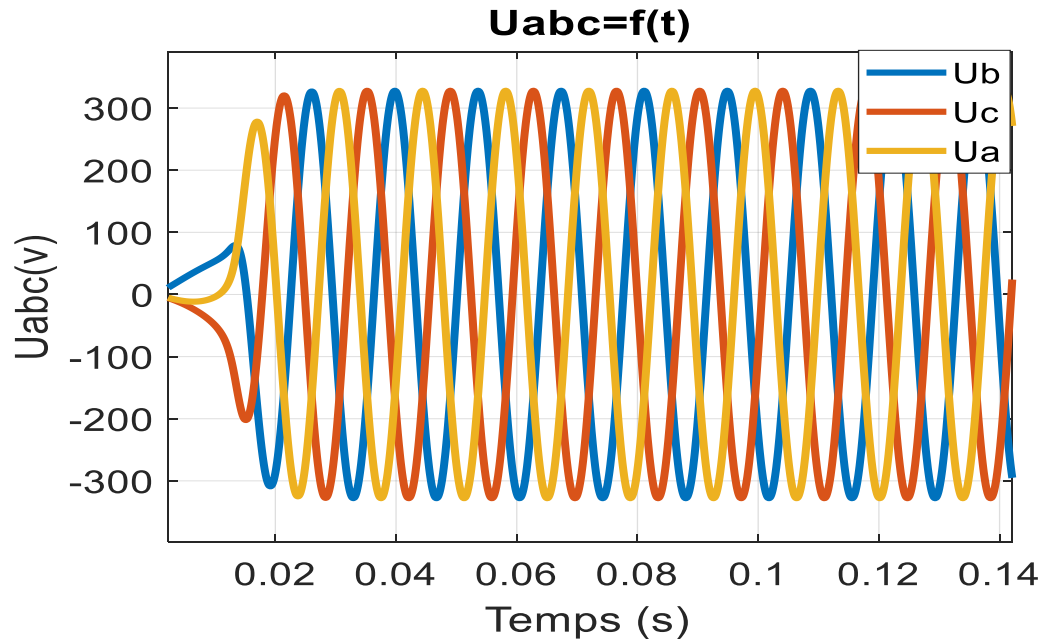


Figure III.9 : variation des tensions Statorique

On a les tensions V_d et V_q :

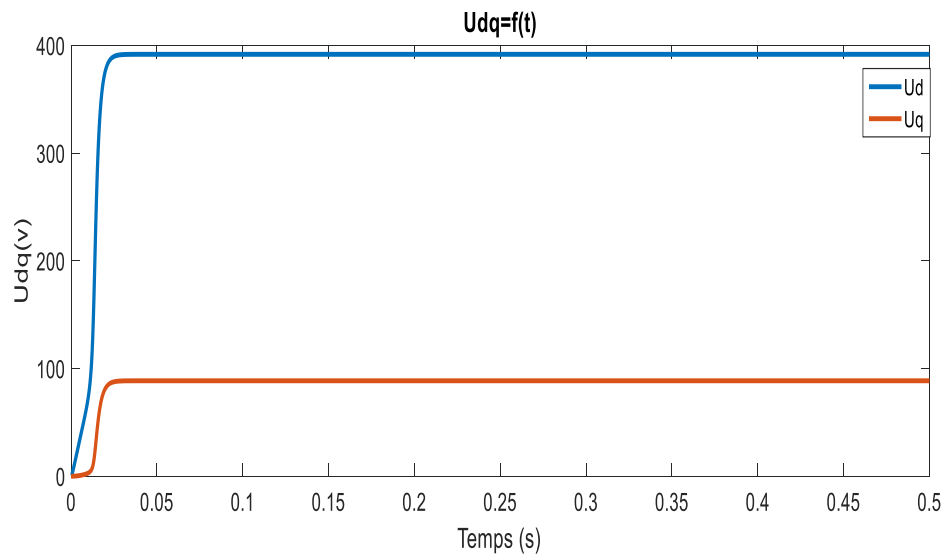


Figure III.10 : Variation des tensions V_d et V_q

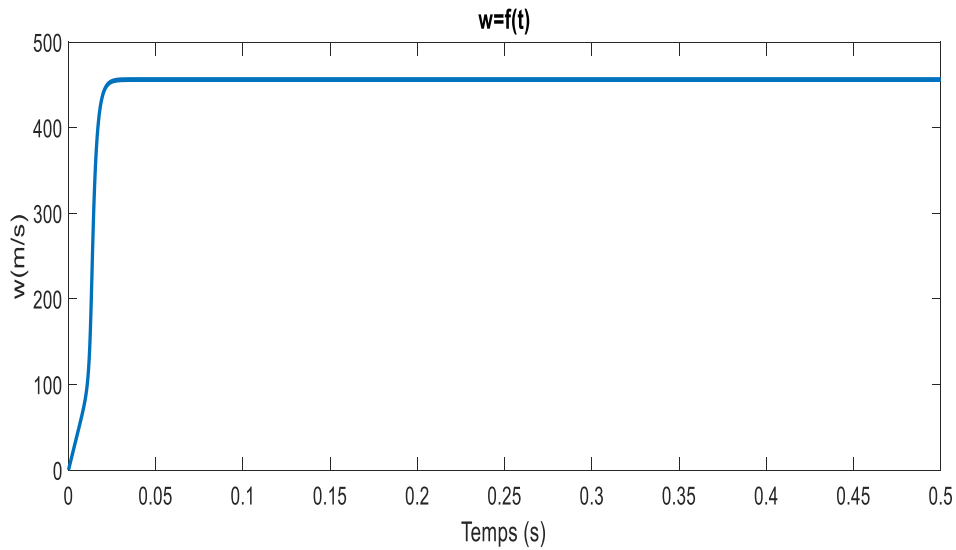


Figure III.11 : La variation de vitesse de Rotation(w)

Pour les résultats de la simulation de génératrice en charge ont augmenté de presque deux fois les valeurs de la simulation en vide, de sorte que sur la figure (III.9) la plus grande valeur que les courbes de tension (abc) atteignent est de 300 volts. Il en va de même pour la figure (III.10), qui représente les changements de tension V_d et V_q de sorte qu'il y a une grande différence entre eux. La tension V_q est nulle puis augmente d'une faible valeur pour atteindre 80 volts et reste constante puis, quant à la tension V_d , elle atteint la valeur la plus élevée qui est de 390 volts et reste stable au cours du temps. Enfin nous avons sur la figure (III.11) les changements de vitesse de rotation où nous remarquons qu'il augmente d'une grande valeur jusqu'à ce qu'il atteigne 450 N.m et reste constant après cela.

III.5. Simulation de système globale

Afin de faire la simulation de notre système éolien, nous avons présenté la modélisation de toute la chaîne de conversion éolienne connectée à la charge.

L'objectif de la modélisation est de présenter un modèle mathématique qui sera implanté sur le logiciel de simulation MATLAB comme montré au figure III.12 ci-dessus :

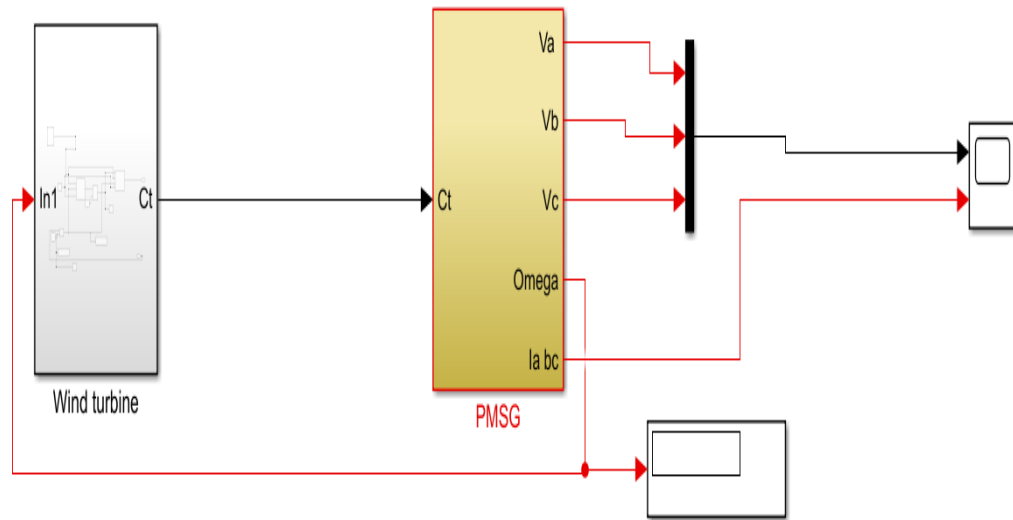


Figure III.12 : Schéma bloc sur MATLAB de tout le système de l'énergie éolien

La figure III.12 montre les 03 parties essentielles de notre travail et qui sont :

1. la turbine éolienne : avec la vitesse de vent estimé par génération des noises fluctuations à partir de la valeur constant ajouté qui égale 10.
2. La génératrice synchrone a aimant permanent GSAP : qui est couplée avec la turbine et qui tourne avec la même vitesse.
3. La charge.

III.5.1. Résultats et simulation

La simulation de notre model sur MATLAB est basé sur l'application de toutes les paramètres d'entré de système comme la vitesse de vent.

La vitesse de vent dans notre cas est déjà appliquée par plusieurs chercheurs qui sont les sommes des fluctuations harmoniques générées comme montre la figure

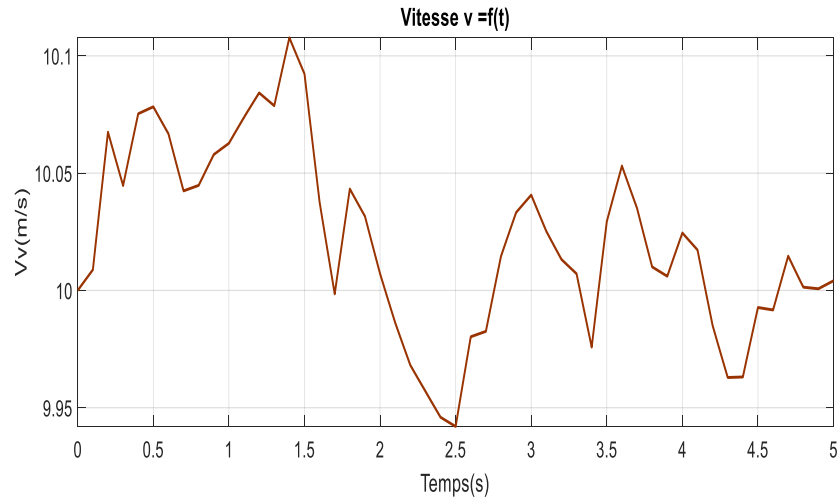


Figure III. 13 : Vitesse de vent en fonction de temps

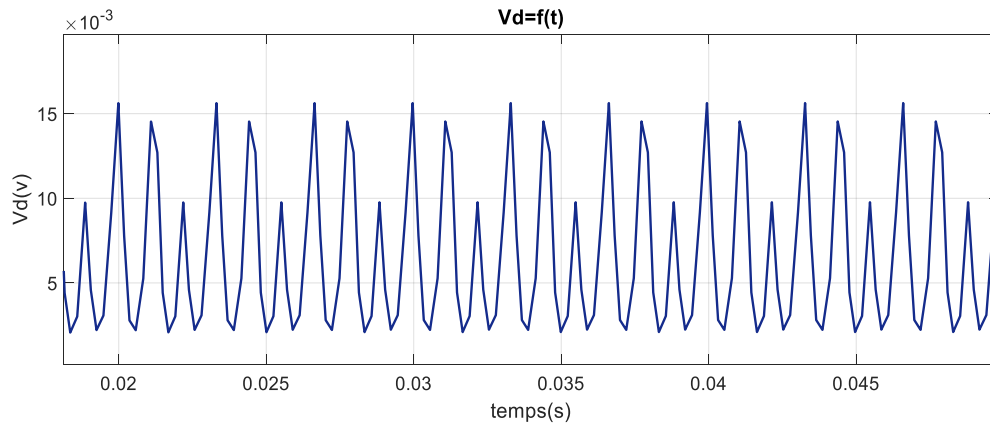


Figure III. 14 : Tension statorique direct en fonction de temps

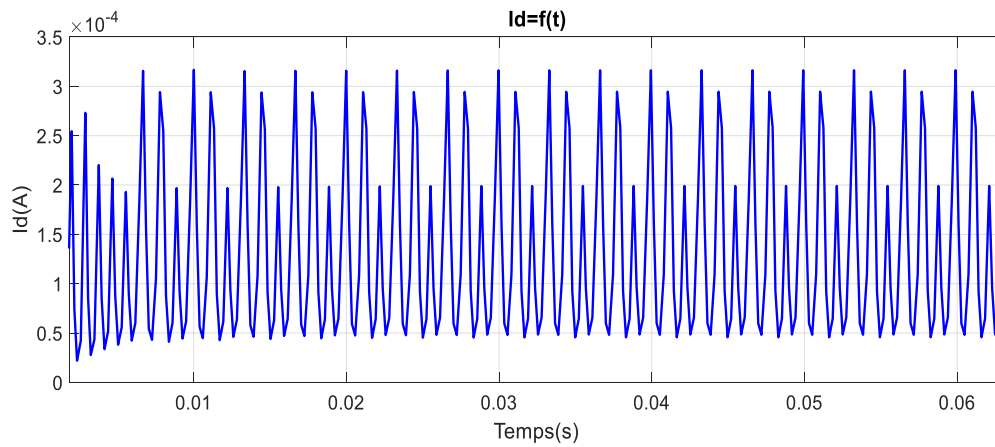


Figure III. 15 : courant statorique direct en fonction de temps

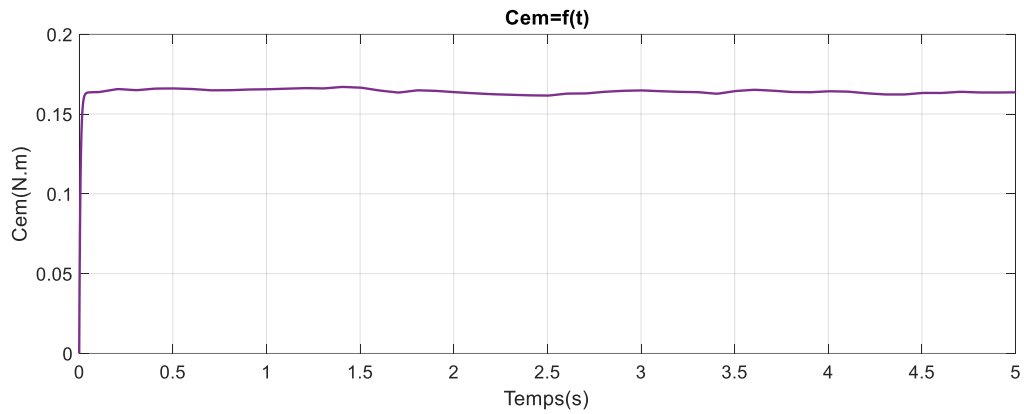


Figure III. 16 :Le couple électromécanique en fonction de temps

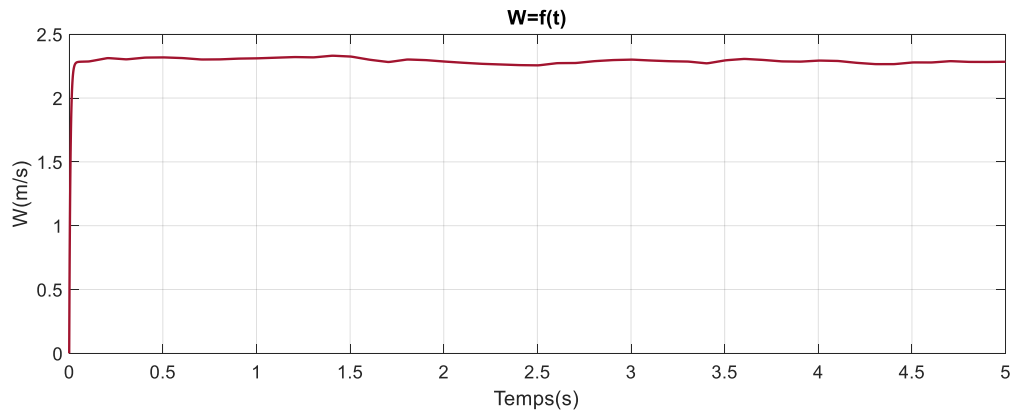


Figure III. 17 :Vitesse de rotation en fonction de temps

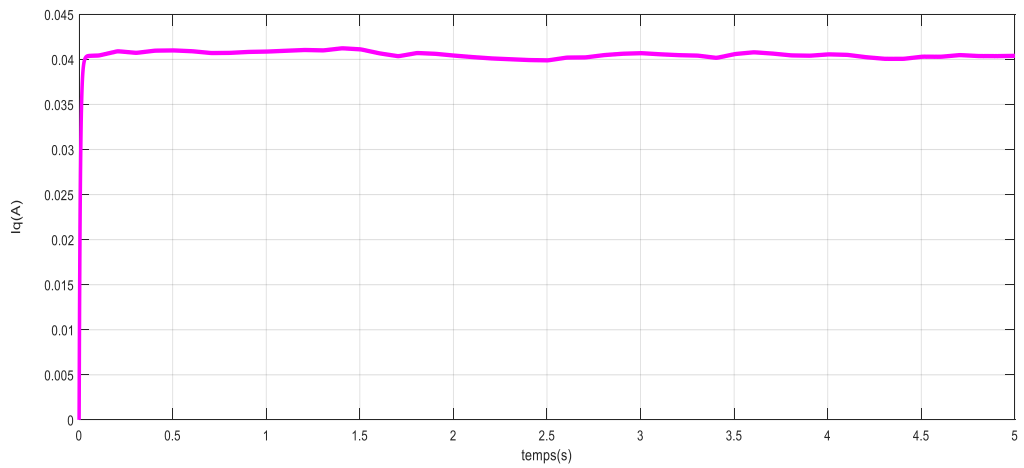


Figure III. 18 :Courant quadratique en fonction de temps

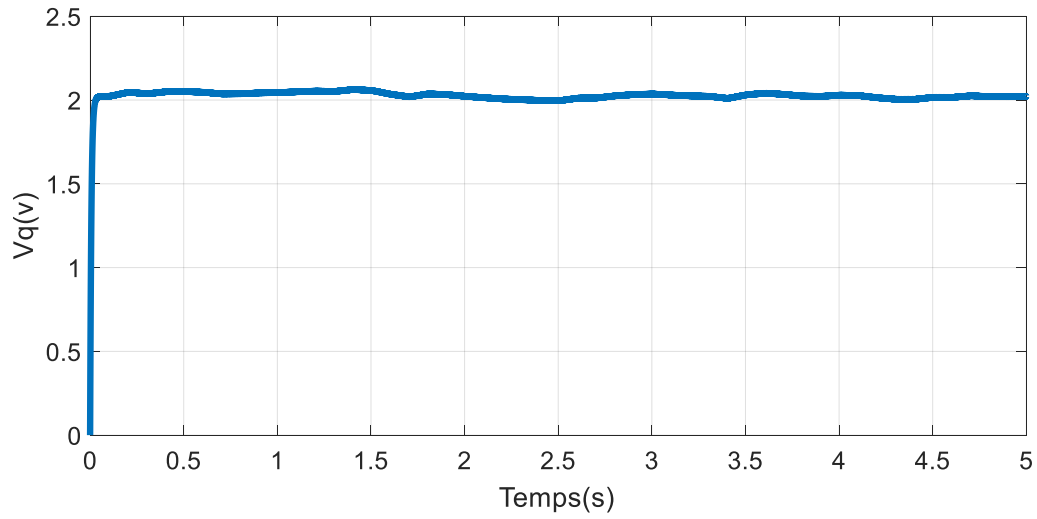


Figure III.19 :La tension quadratique en fonction de temps

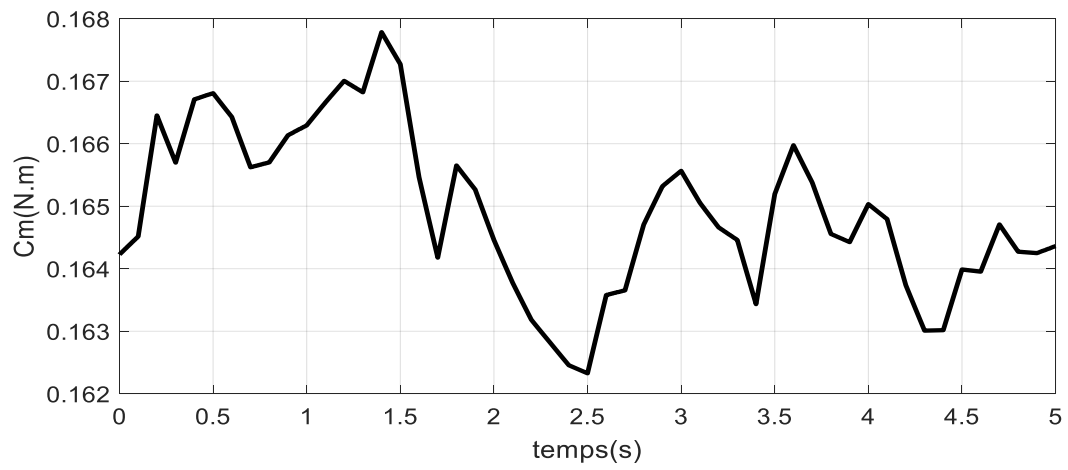


Figure III.20 :Le couple mécanique en fonction de temps

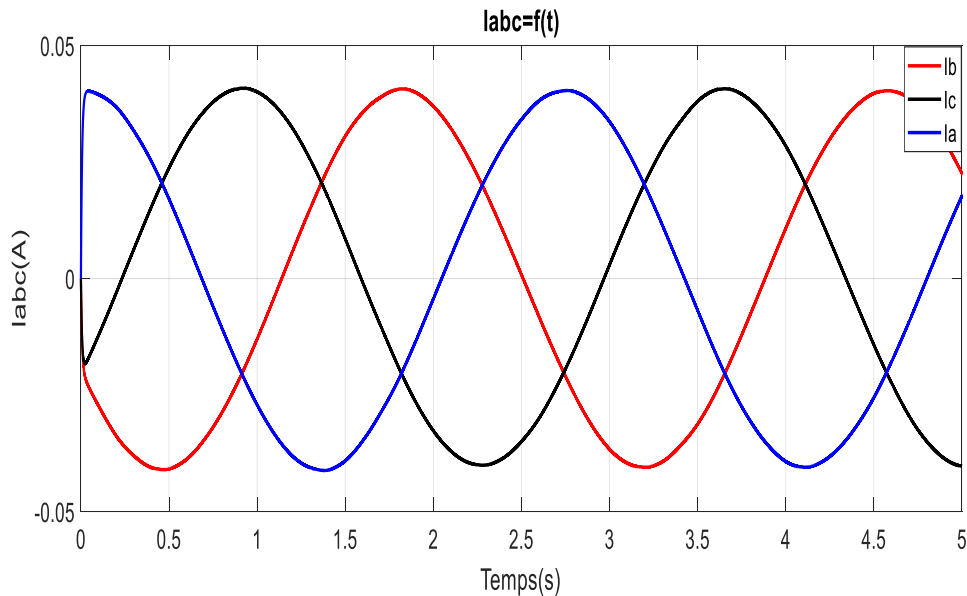


Figure III.21 : les courant (abc) en fonction de temps

Après avoir effectué une simulation du système éolien total à l'aide du programme "Simulink", nous avons obtenu des résultats qui nous montrent l'évolution de plusieurs variables liées à ce système, et à travers elles, nous notons ce qui suit:

- Sur la figure (III.14) , qui nous montre les changements de Tension Statorique Direct en termes de temps à partir de la courbe, nous remarquons que les changements de V_d changent constamment d'ondes oscillantes et la valeur la plus élevée enregistrée est

$15 \cdot 10^{-3}$ volts et la valeur la plus basse est $2 \cdot 10^{-3}$ pendant une période de temps (de 0 à 0.045sec)

- Quant aux variations de courant statorique direct (I_d) représentées sur la figure (III.15), elles évoluent presque de la même manière avec V_d , et la valeur la plus élevée qu'elles atteignent est estimée à $3 \cdot 10^{-4}$ ampères

- Quant à la courbe de couple mécanique représentée sur la figure (III.20), elle prend la forme d'une courbe de changement de vitesse du vent car elle est liée aux changements de vent et au mouvement de l'éolienne.

- La courbe les courants (abc) de la figure (III.21) est une courbe Sinusoïdale et la plus grande valeur enregistrée par le courant est de 0,05 ampère

- Pour chacune des courbes C_{em} , Vitesse de Rotation, V_q et I_q , on remarque qu'elles prennent approximativement les mêmes évolutions de sorte qu'elles sont nulles au départ et augmentent jusqu'à atteindre une valeur de référence pour chaque variable et y restent constantes.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes concentrés sur la simulation des différents composants d'un système éolien dans Simulink et enfin nous avons réalisé un schéma-bloc pour le système éolien générique composé d'une turbine, d'un générateur et de la charge.

Nous avons obtenu des résultats de cette simulation, qui sont représentés dans plusieurs courbes que nous avons commentées et conclu que chaque variable que nous avons étudiée est liée au mouvement du vent et au principe du travail de la machine éolienne.

Chapitre IV

IV.1. Introduction

L'objectif de cette partie est la conception d'une usine de production d'eau minérale utilisé pour les besoins d'exploitation de ce dernier à la région de Reggane fonctionnant à l'énergie éolienne (trois types d'éoliennes proposés). Reggane est une commune de la wilaya d'Adrar en Algérie, située au nord du désert du Tanezrouft. Associée à Sali elle forme la circonscription administrative nommée daïra de Reggane dont elle est le chef-lieu. Le territoire de la commune se situe au sud de la wilaya d'Adrar. La ville de Reggane est située à 135 km à vol d'oiseau au sud-est d'Adrar et à 145 km par la route. Le territoire de la commune se situe au sud de la wilaya d'Adrar. La ville de Reggane est située à 135 km à vol d'oiseau au sud-est d'Adrar et à 145 km par la route.

IV.2. Dimensionnement par le programme HOMER PRO

Les sources d'énergie non conventionnelles (éoliennes et solaires) peuvent jouer un rôle très important dans la satisfaction de la demande énergétique mondiale. La production d'énergie solaire à l'aide de PV est de construction très simple, compacte et peut être installée dans le pays pour la production d'électricité [1-3]. De nombreux auteurs ont prouvé que la connectivité au réseau avec un système hybride était plus efficace et fiable que le système autonome [4-7]. HOMER Pro est utilisé pour l'optimisation du système d'alimentation hybride proposé. HOMER est utilisé pour analyser le comportement physique du système électrique et son coût de cycle de vie, qui comprend son installation ou son coût d'investissement et son coût d'exploitation sur toute la durée de vie de cette centrale électrique. La durée de vie de la centrale est également spécifiée dans HOMER PRO pour la vie de la centrale électrique. [8] Le système proposé comprend une usine d'eau minérale située dans la région de Reggan. Nous exploitons la centrale à l'aide de trois types d'éoliennes différents. L'usine consomme également environ 2426,45 kWh d'énergie électrique par jour.

Le tableau suivant montre les types utilisés dans cette simulation :




Type éolienne	I- <u>Bergey Excel 10</u>	II- <u>XZERES 10kW</u>	III- <u>Gaia-Wind 133</u>
Capacité	10 KW	10 KW	11KW
Prix unitaire	30720 USD	50000 USD	45000 USD
Photo d'éoliennes			

Tableau IV.1 : Les trois types éoliens utilisés dans notre étude.

IV.3. Choisir le type de charge

Le programme propose plusieurs types de charge soit résidentiel, commercial, ville...



Figure IV.1 : La situation géographique de Reggan

On choisit le mois de pic de charge, dans notre cas est le mois juillet, en suite nous trouve

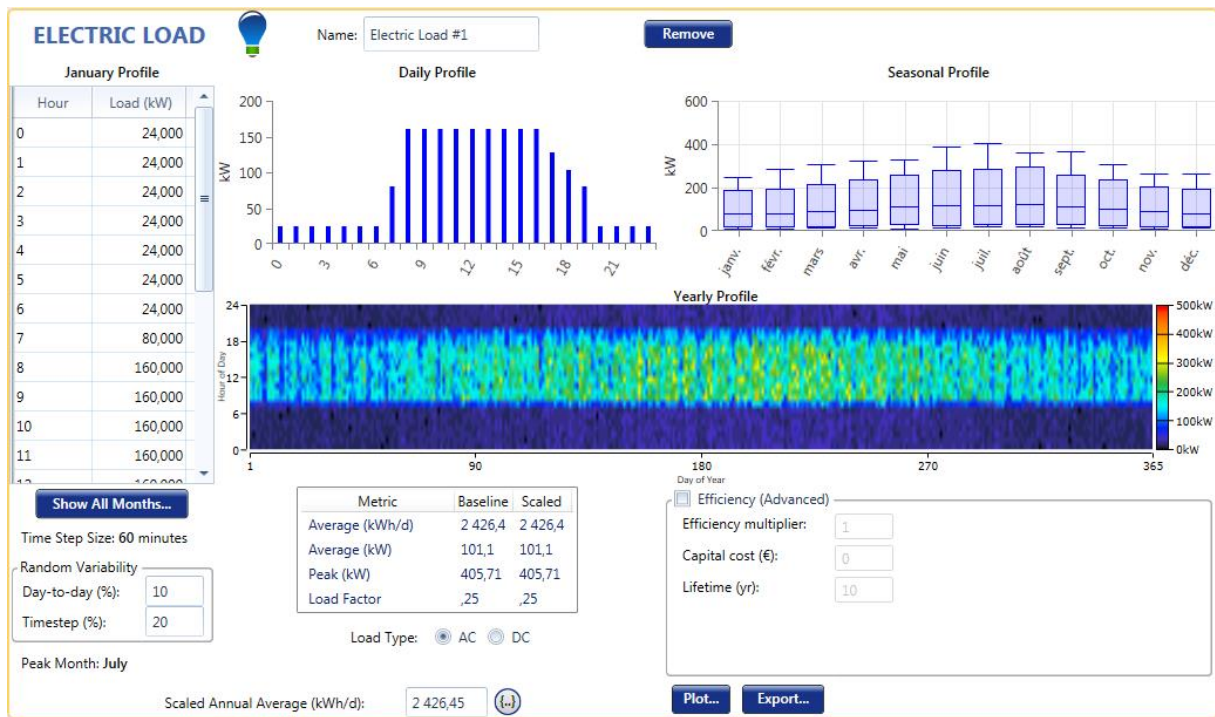


Fig. IV.2 : la consommation journalière de notre usine

IV.2.1. Rayonnement solaire et vitesse du vent

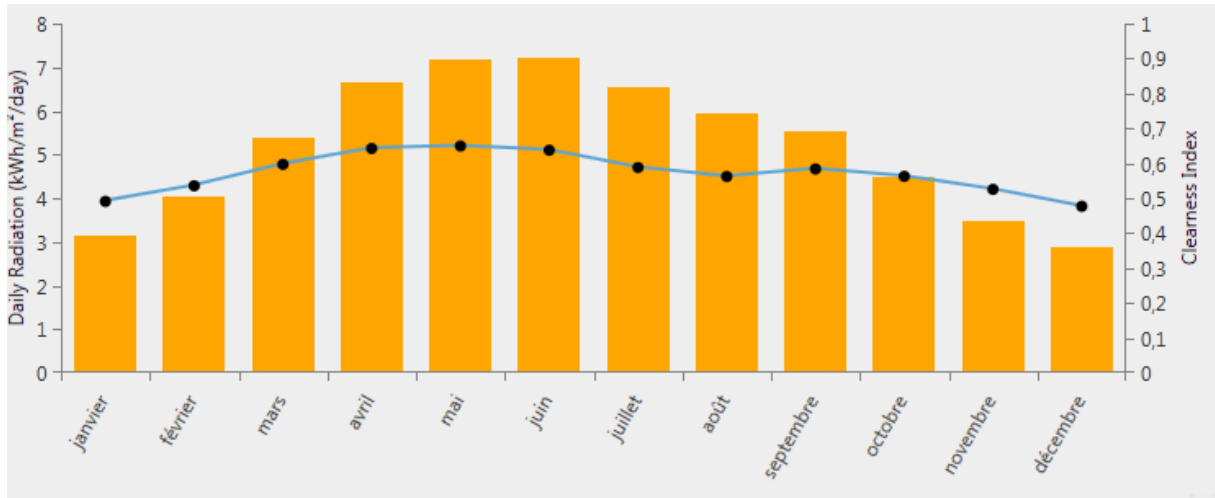
Reggane, et parce que c'est une zone désertique, elle se caractérise par un rayonnement solaire très important et une température énorme. Elle se caractérise également par un été long et très chaud et un hiver court.

Parmi les résultats présentés à la figure IV.3, qui représentent les changements à la fois du rayonnement solaire et de la vitesse du vent dans la région au cours de l'année, nous notons:

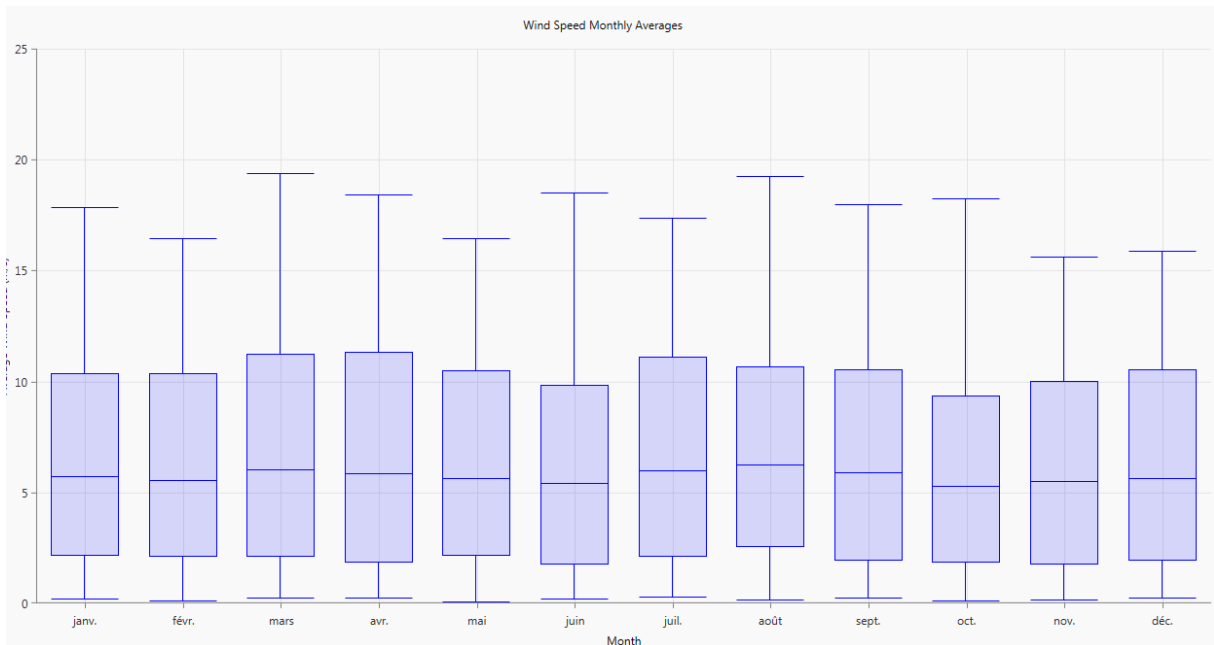
Les données sur les ressources solaires montrent la quantité de rayonnement solaire qui frappe la surface de la terre au cours d'une année typique. Dans HOMER Pro, il s'agit du paramètre d'entrée pour Solar GHI Resource. Ces données sont transmises au HOMER Pro La figureIV.3 (a)montre une vue HOMER Pro pour l'intensité du rayonnement solaire (KWh/m²/jour) et son graphique respectif pour l'année entière.

La ressource éolienne indique la vitesse moyenne mensuelle du vent de la zone concernée. La figureIV.3 (b) montre la saisie des données sous forme de vitesse moyenne mensuelle du vent

pour la région de Reggane dans l'option « Ressource éolienne » de HOMER Pro. Sur le côté droit de la figure IV.3 (b), les données de vitesse du vent sont tracées sous forme de graphique entre la vitesse mensuelle moyenne du vent en m/s et les mois de janvier à décembre.



(a) Rayonnement solaire



(b) Vitesse de vent

Fig. IV.3 : Rayonnement solaire moyen et vitesse du vent au cours de l'année à Reggane.

(a) Rayonnement solaire :

Quant au rayonnement solaire, il est toujours élevé, surtout pendant les mois (mai, juin, juillet et août), de sorte que le rayonnement atteint des valeurs maximales et les températures sont très élevés, atteignant jusqu'à 50 degrés Celsius en été.

(b) Vitesse du vent :

Quant à la vitesse du vent, la région est également caractérisée par des vents de mousson continus parfois, surtout dans les mois (mars, avril, mai).

Comme nous le savons, l'état d'Adrar et ses villes ont un climat caractérisé par une grande clarté solaire et une température élevée, ainsi que le vent, ce qui en fait une excellente zone pour y investir les énergies renouvelables, en particulier l'énergie éolienne et solaire

IV.4. Schéma de conception Du système éolienne sur le simulateur HOMER

Sur le HOMER Nous avons défini chaque élément de notre installation en basant sur toutes les données et les caractéristiques (conception et système d'installation) et aussi il faut connaître les coordonnées du site, la durée de vie des composants et leurs couts. Les figures suivantes présentent les données du système.

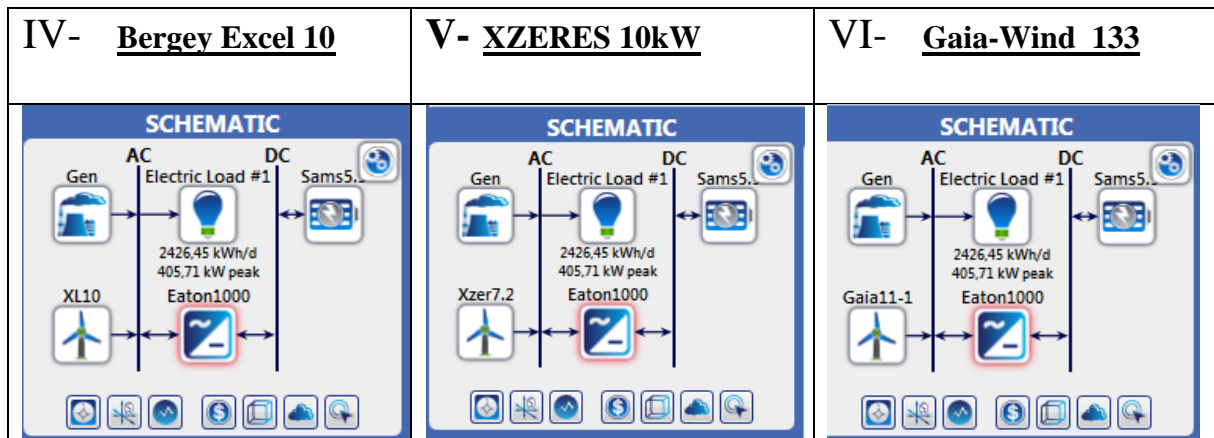


Fig. IV.4: Diagramme de système pour chaque système

IV.4.1. Résultats et discussion

Les résultats de simulation par HOMER sont donnés sous forme de combinaisons réalisables (technique et économique) des éléments définis dans l'installation.

-Une fois le calcul terminé et sans message d'avertissement, les résultats sont classés en fonction du coût sur la durée de vie.

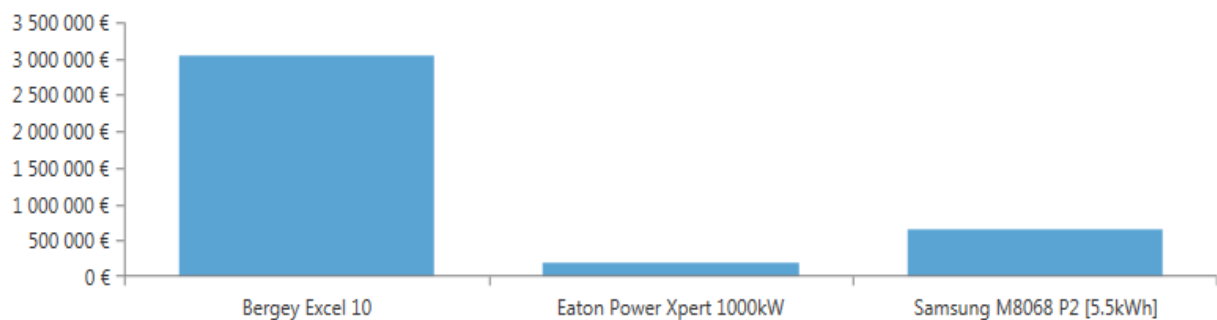
-Nous pouvons voir la meilleure solution par type de système, la figure suivant présente le résultat de simulation de système.

VII- <u>Bergey</u>	↑ [Icons] 81	2 527	727	CC	0,340 €	3,89 €M	108 052 €	2,49 €M
VIII- <u>XZERE</u>	↑ [Icons] 111	1 587	599	CC	0,602 €	6,89 €M	103 447 €	5,55 €M
IX- <u>Gaia</u>	↑ [Icons] 55	2 134	754	CC	0,406 €	4,65 €M	104 516 €	3,30 €M

Fig. IV.5 : Résultat de simulation de système par HOMER

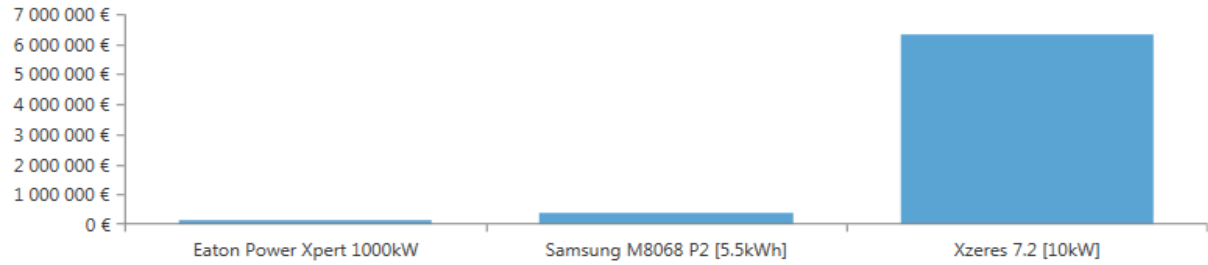
Dans ce résultat pouvons voir plusieurs détails techniques et économiques à propos de chaque configuration de système que HOMER simule.

-L'onglet « Costsummary » catégorisé par type de composants ou par type de coûts. Il permet aussi l'accès à la fenêtre de comparaison des coûts entre les différentes solutions.



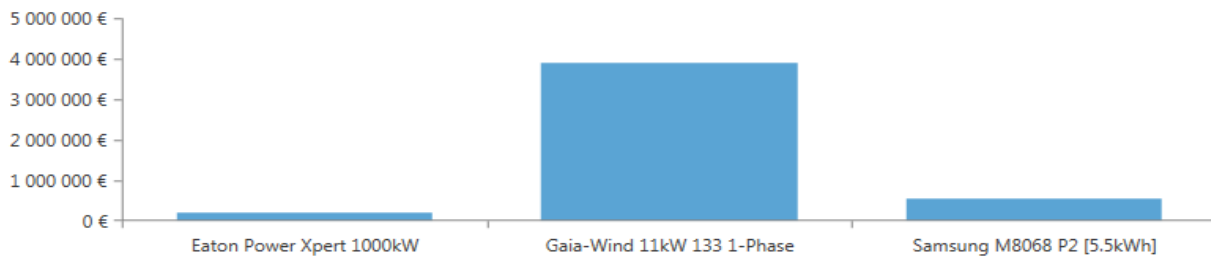
Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
Bergey Excel 10	2 488 320,00 €	793 294,71 €	209 425,77 €	0,00 €	-447 072,44 €	3 043 968,03 €
Eaton Power Xpert 1000kW	0,00 €	0,00 €	187 841,70 €	0,00 €	0,00 €	187 841,70 €
Samsung M8068 P2 [5.5kWh]	0,00 €	0,00 €	653 356,69 €	0,00 €	0,00 €	653 356,69 €
System	2 488 320,00 €	793 294,71 €	1 050 624,15 €	0,00 €	-447 072,44 €	3 885 166,41 €

(a) Bergey



Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
Eaton Power Xpert 1000kW	0,00 €	0,00 €	154 767,94 €	0,00 €	0,00 €	154 767,94 €
Samsung M8068 P2 [5.5kWh]	0,00 €	0,00 €	410 319,38 €	0,00 €	0,00 €	410 319,38 €
Xzeres 7.2 [10kW]	5 550 000,00 €	1 769 380,79 €	0,00 €	0,00 €	-997 159,55 €	6 322 221,24 €
System	5 550 000,00 €	1 769 380,79 €	565 087,31 €	0,00 €	-997 159,55 €	6 887 308,55 €

(b) XZERES



Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
Eaton Power Xpert 1000kW	0,00 €	0,00 €	195 028,22 €	0,00 €	0,00 €	195 028,22 €
Gaia-Wind 11kW 133 1-Phase	3 300 000,00 €	0,00 €	604 361,40 €	0,00 €	0,00 €	3 904 361,40 €
Samsung M8068 P2 [5.5kWh]	0,00 €	0,00 €	551 746,41 €	0,00 €	0,00 €	551 746,41 €
System	3 300 000,00 €	0,00 €	1 351 136,02 €	0,00 €	0,00 €	4 651 136,02 €

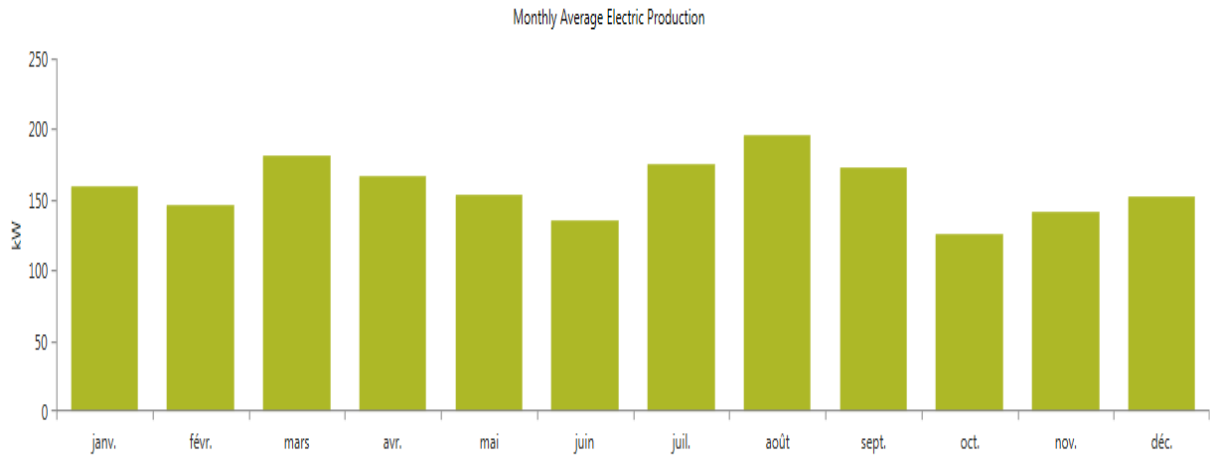
(c) Gaia

Fig. IV.6 : Prix des générateurs de système

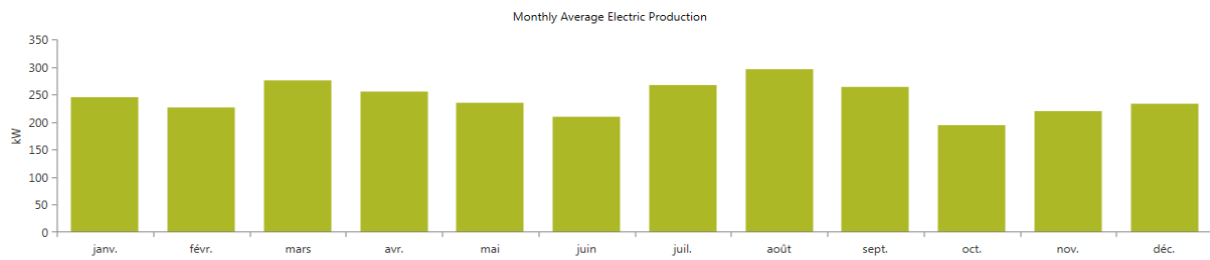
- L'onglet « Cash Flow » montre le graphique du cash flow correspondant au système. Chaque barre du graphe représente soit les dépenses totales soit les recettes totales d'une année. La première barre, de l'année zéro, montre le coût d'investissement du système. Une valeur négative représente une dépense, comme le coût de la maintenance du remplacement des composants ou de l'opération et de la maintenance (O&M). Une valeur positive représente une recette, qui peut

être la vente d'électricité ou la revente des composants au démontage du système à la fin de la vie du projet.

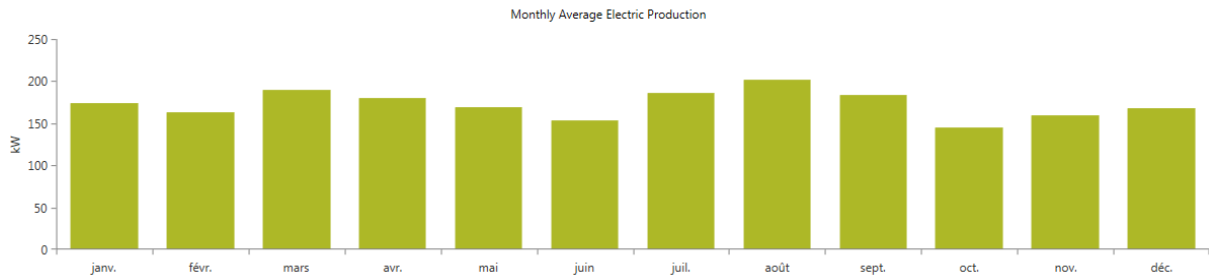
L'énergie produite du système optimal est montrée dans la figure IV .7 ci-dessous



(a) Bergey



(b) XZERES



(c) Gaia

Fig. IV.7 : profile de Puissance moyenne produite par le vent.

On dispose des graphes de la figure IV.7, qui représentent la production d'énergie pour chaque type d'éolien, d'où on note:

-La capacité que nous obtenons du premier type (Bergey) au cours de l'année varie entre 130KW et 210KW, de sorte que la valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'août, qui s'élève à (210KW)

-Pour le deuxième type d'éolienne (XZERES), la quantité d'énergie qu'il produit est comprise entre 200 kilowatts et 300 kilowatts, et les grandes valeurs enregistrées par ce type sont durant les mois (mars, juillet et août) sa valeur maximale est en le mois d'août (320 kilowatts).

-éolienne type "Gaia" Produit une énergie allant de 150 à 220 kilowatts par an

Par conséquent, nous avons remarqué que pour chacun des types étudiés, ils enregistrent de grandes valeurs en mars, avril et août, de sorte que cette région est caractérisée pendant ces mois par les vents de mousson, ce sont donc les meilleurs mois de l'année. Pour la bonne production de cette énergie

- **Le tableau suivant présente la production et le taux d'énergie électrique pour le vent**

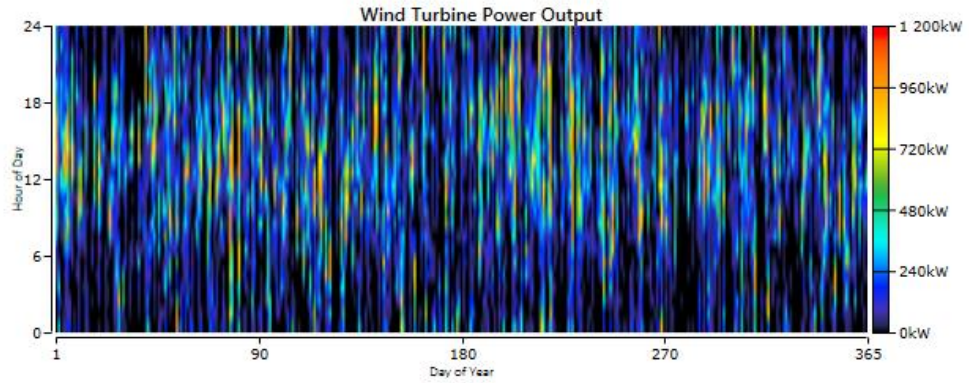
Type de système	Production	KWh/ année
X- XI- <u>Bergey</u>	Wind flow 45-500	1 392 558
	Total	1 392 558
XII- XIII- <u>XZERES</u>	Production	KWh/ année
	Wind flow 45-500	2 133 710
	Total	2 133 710
XIV- <u>Gaia</u>	Production	KWh/ année
	Wind flow 45-500	1 513 591
	Total	1 513 591

Tableau IV.2 : Energie annuelle produite.

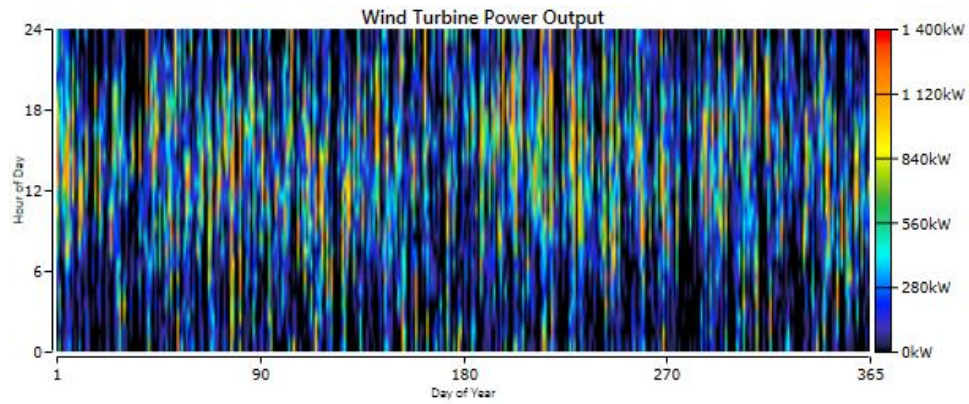
Le tableau précédent nous montre la production annuelle de chaque type d'éolienne, à travers laquelle nous concluons que le meilleur type parmi ces trois types que nous avons étudiés est (XZERES), de sorte que sa production au cours de l'année atteint 2133710KWh/année, et ensuite c'est suivi de l'éolienne type Gaia, qui a une capacité d'environ 1513591KWh/an

Donc en termes de productivité et de capacité, le meilleur type est "XZERES."

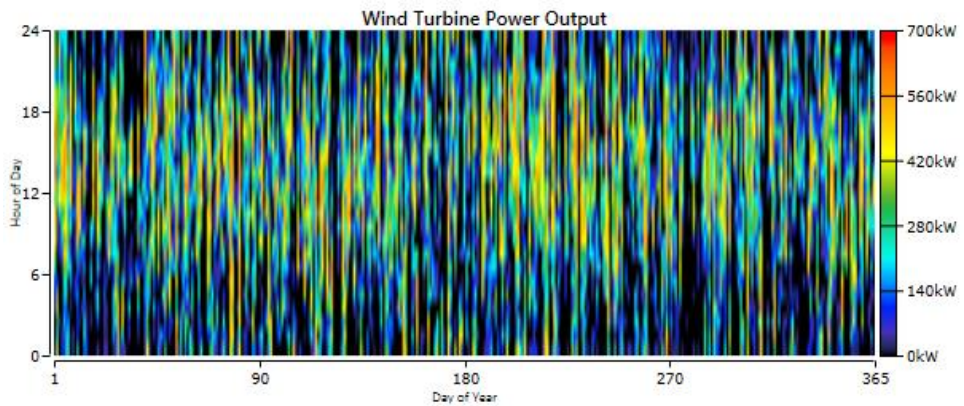
IV.5. Le générateur éolien



(a) Bergey



(b) XZERES



(c) Gaia

Fig. IV.8 : la production de l'énergie éolienne

IV.5.1. Interprétation des Résultats

Note dans la Figure IV.8 pour la production éolienne pour trois types de systèmes éoliens. Le premier. On note son niveau de production d'énergie au cours de l'année jusqu'à 1200 kilowatts. On constate également dans le type b **XZERES**, la production d'énergie atteint un maximum nombre estimé à 1400 kilowatts, ce qui est le meilleur et le meilleur grâce au dernier Gaia, qui produit 700 kW. Le type B est le meilleur et le meilleur.

IV.6. Conclusion

La région Adrar montre un climat désertique chaud (Classification de KöppenBWh) typique de la zone saharienne hyperaride, c'est-à-dire du cœur du Sahara, avec un été torride, très long et un hiver court, tempéré chaud. ... La température moyenne journalière annuelle est de 26-27 °C à Adrar.

L'application des énergies renouvelables dans cette région est très efficace et utile pour résoudre le problème énergétique mondial.

Cette étude n'est qu'un début pour un développement d'énergie renouvelable, on souhaite avoir plus de succès dans ce domaine économique parce que la région est très riche en ressources éoliennes. L'objectif de ce chapitre est la conception d'une usine de production d'eau minérale utilisé pour les besoins d'exploitation de ce dernier à la région de Reggane fonctionnant à l'énergie éolienne (trois types d'éoliennes proposés).

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie qui se renouvellent assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Ils, permettent une production décentralisée de l'électricité, peuvent contribuer à résoudre le problème de l'électrification des sites isolés où un grand nombre d'individus est dépourvu de tout apport énergétique, ne pouvant ainsi satisfaire aucun besoin même minime et améliorer ses conditions de vie. Faisant appel à des sources d'énergie universellement répandues, nécessitant un minimum de maintenance, la solution solaire représente le plus souvent le choix économique et technologique idéal pour la région d'Adrar ou installations isolées.

Dans ce travail nous avons présenté la modélisation et la commande d'une turbine éolienne à base d'une turbine à axe verticale. L'objectif de notre travail était de faire un modèle des différents composants du système éolien pour l'application d'une commande.

Pour ce faire, nous avons structuré cette mémoire en 04 chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons donné un état de l'art sur les systèmes renouvelables et exposition de chaque type avec son application. Ce chapitre est terminé par les impacts climatiques dans le monde et en Algérie. Et la consommation d'énergie au niveau national et mondial, en particulier dans la région d'Adrar.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté le modèle aérodynamique de la turbine éolienne à axe verticale et la modélisation détaillée d'un système éolien. Ce chapitre est aussi présent la Machine Synchronique à aimants permanents GSAP, sa définition, ses composants, ses types.

Dans le troisième chapitre nous avons illustré la simulation d'une éolienne « la turbine, générateur GSAP, et la charge (Rch, Lch) ». Les résultats de simulation de ce modèle sous Matlab/Simulink à vide et en charge ont été bien expliqués et bien discutés.

Le dernier chapitre, nous avons étudié la comparaison du fonctionnement et de prix de plusieurs types des éoliennes afin de découvrir le meilleur et le plus efficace système à faire dans notre région d'Adrar.

Comme perspective de ce travail, on propose un futur travail sur la commande de ce système éolien par les algorithmes génétiques et l'application de contrôle classique PI et PID sur les

boucles de courant et tension a fin de fournir un puissance optimale et tension constant de bus continu, Commande de la turbine par MPPT., Optimisation des paramètres d'une chaine éolienne.

Aussi, comme perspective on peut utiliser ce modèle avec un autre source renouvelable et construire un système hybride avec régulation de la charge.

Annexes

Annexe A

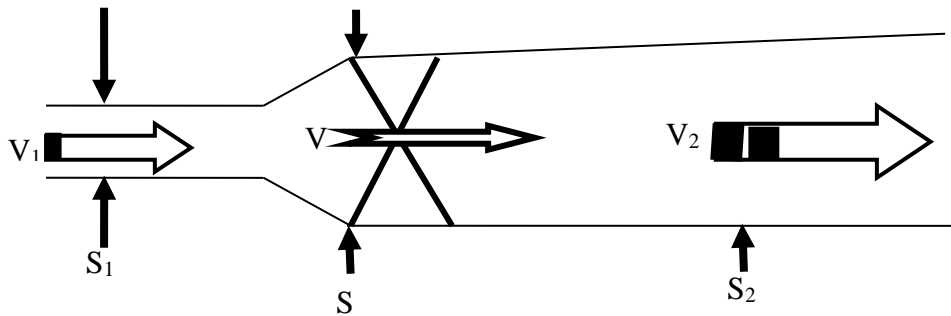
Limite de Betèz

Les turbines de vent transforment l'énergie cinétique éolienne en énergie mécanique. Il y a des principes généraux qui s'appliquent dans ces cas-ci : lois de conservation de la masse, d'élan et d'énergie. La théorie considère un rotor dans le mouvement comme un disque poreux qui éprouve un vent dû axial d'incident de force ou de poussée, et sa théorie axiale dénommée d'élan (figure A.1).

Pour appliquer la théorie elle prévoit les hypothèses suivantes :

- L'air est un fluide idéal, sans viscosité.
- L'écoulement d'incident est unidimensionnel et la pression, la densité et la vitesse sont uniformes.
- La turbine est suffisamment loin de tous les obstacles de sorte que son influence soit sans valeur.
- On le considère dans l'état stationnaire.

Soient S_1 et S_2 les sections amont et aval de la veine de fluide.



FigureA.1: Veine d'air sur une éolienne.

La masse d'air m déplacée par seconde est :

$$M = \rho \times s \times v = \rho \times s_1 \times v_1 = \rho \times s_2 \times v_2 \quad (\text{A-1})$$

$\rho=1,25 \text{ Kg/m}^3$ est la valeur moyenne de la masse volumique de l'air.

La variation d'énergie cinétique E_c de la masse d'air qui traverse l'éolienne par seconde est :

$$E_c = \left[\frac{1}{2} m(v_1)^2 \right] - \left[\frac{1}{2} m(v_2)^2 \right] = \frac{1}{2} \times \rho \times s \times v \times (v_1 - v_2)(v_1 + v_2) \quad (\text{A-2})$$

La force F_e exercée sur le moteur éolien par l'air est égale à la variation de la quantité de mouvement du fluide lors de la traversée de la surface S :

$$F_e = mv_1 - mv_2 = m(v_1 - v_2) = \rho \times s \times v \times (v_1 - v_2) \quad (\text{A-3})$$

Le travail produit par cette force dont le point d'application se déplace d'une distance V en une seconde, par rapport aux molécules d'air en mouvement, est la puissance absorbée par l'éolienne :

$$P = F_e \times v = \rho \times s \times v^2 \times (v_1 - v_2) \quad (\text{A-4})$$

Il vient que :

$$\frac{1}{2} \times \rho \times s \times v \times (v_1 - v_2)(v_1 + v_2) = \rho \times s \times v^2 \times (v_1 - v_2) \quad (\text{A-5})$$

D'ou la vitesse au niveau des pales est :

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (\text{A-6})$$

L'expression de la puissance devient alors :

$$P = \frac{1}{4} \times \rho \times s \times (v_1 + v_2)^2 (v_1 - v_2) \quad (\text{A-7})$$

Posons $X = \frac{v_1}{v_2}$, un coefficient compris entre 0 et 1 puisque $v_1 < v_2$.

Ainsi :

$$\begin{cases} P = \frac{1}{4} \times \rho \times s \times (v_1)^3 (1 + X)^2 (1 - X) \\ P = \frac{1}{2} \times \rho \times s \times (v_1)^3 \times \left[\frac{1}{2} \times (1 + X)^2 (1 - X) \right] \end{cases} \quad (\text{A-8})$$

Avec :

$$C_p = \left[\frac{1}{2} \times (1 + X)^2 (1 - X) \right] \quad (\text{A-9})$$

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times s \times (v_1)^3 \times C_p \quad (\text{A-10})$$

En général, $0.2 < C_p < 0.8$ pour les éoliennes rapides [6].

La valeur maximale de P s'obtient par :

$$\frac{dp}{dx} = 0 \Rightarrow X_{\max} = \frac{1}{3} \quad (\text{A-11})$$

Reportant cette valeur de x dans les expressions de (A-9) et de (A-10), il vient :

$$P_m = \frac{16}{27} \times \left[\frac{1}{2} \times \rho \times s \times (v_1)^3 \right] \quad (\text{A-12})$$

$$C_p = \frac{16}{27} = 0.592 \quad (\text{A-13})$$

$$P_m = 0.592 \times \left[\frac{1}{2} \times \rho \times s \times (v_1)^3 \right] \quad (\text{A-14})$$

Alfred Betz, constate que le facteur axial d'induction qui maximise le coefficient de puissance est égal à 1/3, où on déduit que la valeur maximum du Cp est 0,593, c.-à-d. la turbine seulement peut extraire 60% de toute l'énergie cinétique du vent dans des conditions idéales.

Annexe B

B.1 Transformation de coordonnées abc-αβ et αβ-dq

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_0 \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & 1/2 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (\text{B-1})$$

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma \\ -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{B-2})$$

B.2 Transformation de coordonnées dq-αβ et αβ-abc

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1/\sqrt{2} \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 & 1/\sqrt{2} \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_0 \end{bmatrix} \quad (\text{B-3})$$

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma \\ \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} \quad (\text{B-4})$$

Annexe C

C.1 Les paramètres de la Turbine éolienne

Le rayon de la voileure R	0.5 m		
Hauteur de la voileure H	2 m		
La masse volumique de l'air		ρ	1.2 kg/m ³ .

C.2 Les paramètres de la GSAP

Puissance nominale		P_n	500 Watt.
Tension nominale		V_n	220 Volt.
Fréquence nominale		f	50Hz
Résistance d'une phase statorique		R_s	0.985 Ohm.
Inductance statorique direct		L_d	2.7 mH.
Inductance statorique quadratique		L_q	2.7 mH
Flux des aimants		Φ_f	0.15 Wb
Nombre de paire de pôles		p	4
Moment d'inertie		J	$1.1 \cdot 10^{-3} \text{N.m.s}^2 / \text{rd.}$
Coefficient de frottement		F	$6 \cdot 10^{-3}$

C.3 Les paramètres du bus continu

Tension nominale	V_{dc}	45.8 V
Capacité C		0.0001uF

C.3 Les paramètres de la charge

Inductance L_{ch} 2 mH

Résistance R_{ch} 50 Ohm