



**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Abdelhamid Ibn Badis
Mostaganem**

**Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de
MASTER EN ELECTROTECHNIQUE
Option: Electrotechnique industrielle

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Thème :

**Étude et Simulation d'un chargeur USB alimenté par une
génératrice éolienne**

Présenté par :

BENZIANE Mohamed

BENDREF Ibrahim

Sous la direction du :

Mr. SOUAG

Année Universitaire 2019/2020

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Dieu pour tout le courage et la force qu'il m'a donné dans ce travail.

Je remercie également M. SOUGE.S qui m'a encadrer et m'a aidé à développer mon projet.

Nous remercions tous les professeurs qui nous ont suivis pendant notre cours d'étude.

Nous saisissons également cette occasion pour remercier tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, et ainsi contribué au succès de ce travail.

Merci beaucoup

Dédicace

Je dédie ce travail

Je dédie ce travail à ma chère mère, qui m'a soutenu tout au long de ma carrière universitaire, que Dieu la protège.

À mon cher père, qui m'a toujours aidé et soutenu dans les moments difficiles, que Dieu le protège.

À ma sœur Fatima qui m'a toujours aidé à améliorer ce projet et sans oublier ma petite sœur Bouchra.

À tous mes amis, à tous mes proches.

Un dévouement spécial à ceux qui m'ont toujours poussé à ce niveau, mes professeurs.

B.Mohamed

Je dédie ce travail

Je dédie ce travail à mes parents.

À mes frères et sœurs.

À toute ma famille.

À tous mes amis, mes proches.

Ibrahim

Résumé

Nous pouvons dire que les éoliennes sont une perspective d'avenir, leur fonctionnement est simple. De plus elles sont très intéressantes par rapport aux autres sources d'énergie (ce qui est néfaste pour l'environnement).

Et pour installer des éoliennes il faut d'abord connaître les critères de choix d'environnement, leur puissance, leur rendement.

Dans ce travail on a présenté l'énergie éolienne comme une énergie renouvelable, Elle est propre et basé sur le vent comme une matière première, l'éolienne est un convertisseur d'énergie cinétique à énergie électrique elle a deux type HAWT et VAWT, dans notre travail nous avons basé sur HAWT et on a parlé dans plusieurs coté pour simplifié ce thème

Donc pour pouvoir juger les 'éolienne il faut d'abord s'informer et se faire des recherches parce qu'il est chaque éolienne il ya leur critère de fonctionnement.

Mots clés :

Horizontal Axis Wind Turbine; Vertical Axis Wind Turbine

ملخص

يمكننا القول أن تربيينات الرياح هي احتمال للمستقبل, وتشغيلها بسيط بالإضافة إلى ذلك فهي مثيرة جدا للاهتمام مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى (الضارة بالبيئة).

لتنشيت تربيينات الرياح, يجب أولا معرفة معايير اختيار البيئة وقوتها وكفاءتها.

في هذا العمل قدمنا طاقة الرياح على أنها طاقة متجددة, فهي نظيفة وتعتمد على الرياح كمادة خام, تربيينات الرياح هي محول للطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية ولها نوعان هما : تربيينات الرياح أفقية المحور وتربيينات الرياح ذات المحور الراسي, في عملنا هذا قمنا بالاعتماد على تربيينات الرياح الأفقية المحور وتحدثنا عنها في عدة جوانب لتبسيط هذا الموضوع.

لذلك لكي تكون قادرا على الحكم على تربيينات الرياح, يجب عليك أولا إبلاغ نفسك وإجراء البحث لان كل تربيين رياح له معايير التشغيل الخاصة به.

الكلمات الدالة :

تربيينات الرياح الأفقية المحور, تربيينات الرياح ذات المحور الراسي.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Symboles et Abréviations

Introduction générale	1
Chapitre I: Généralité sur les génératrice éolienne & les stations de recharge USB	
Introduction	3
I.1. Historique	3
I.2. qu'est-ce qu'une éolienne	6
I.3. Classification des éoliennes	7
I.3.1. Éoliennes à axe horizontal	7
I.3.1.1. éolienne à axe horizontal amont	8
I.3.1.2. éolienne à axe horizontal aval	8
I.3.1.3. les avantages	9
I.3.1.4. les inconvénients	9
I.3.2. Éoliennes à axe vertical	9
I.3.2.1. le rotor de Darrieus	10
I.3.2.2. le rotor de Savonius	11
I.3.2.3. les avantages	11
I.3.2.4. les inconvénients	12
I.4. Éléments constitutifs d'une éolienne	12
I.5. le principe de fonctionnement d'une éolienne	15
I.6. Type d'installation d'éolienne	16
I.6.1. Parcs éoliens	16
I.6.2. Les éoliennes offshore.....	17
I.7. utilisation	18
I.8. Situation de l'énergie éolienne dans le monde	18
I.8.1. En Europe	18
I.8.2. En Amérique	20

Sommaire

I.8.3. En Asie-Pacifique .....	. 20
I.8.4. En Afrique .....	. 21
I.9. L'énergie éolienne en Algérie .....	. 21
Programme de développement des énergies renouvelables en Algérie .....	. 21
Gisement éolien en Algérie (Champ éolien) .....	. 21
I.10. Le vent (force de la nature) .....	. 22
I.11. Les avantages et les inconvénients .....	. 23
Les avantages .....	. 23
Les inconvénients .....	. 24
I.12. Station de recharge USB .....	. 24
I.13. Conclusion .....	. 26

Chapitre II: Etude et Modélisation du système générateur et du chargeur USB

Introduction .....	. 27
II.1. Types de modèles d'éoliennes "axe horizontal" .....	. 27
EOLIENNE MARINE 504 12V .....	. 27
II.2. Variation de la production d'énergie par rapport à la vitesse du vent .....	. 29
II.3. Notions théoriques sur l'aérogénérateur .....	. 29
II.3.1. La puissance d'une éolienne .....	. 29
II.3.2. Energies et puissance du vent .....	. 30
II.3.3. Limite de Betz .....	. 30
II.3.4. Le Coefficient de puissance C_p .....	. 34
II.4. Différentes zones de fonctionnement d'éolienne .....	. 35
II.5. Les pale .....	. 36
II.5.1. Description d'une pale d'éolienne .....	. 36
II.5.2. Vitesse relative .....	. 37
II.5.3. Corde .....	. 37
II.5.4. Angle d'attaque et de calage .....	. 37
II.5.5. Bilan des forces sur une pale .....	. 38

Sommaire

II.5.6. Coefficients de portance et de trainée et l'action aérodynamique	39
II.5.6.1. La portance	39
II.5.6.2. La trainée	40
II.5.6.3. Action aérodynamique	40
II.6. Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne	41
II.6.1. Le Pitch Control	41
II.6.2. Système à décrochage aérodynamique "stall Control"	42
II.7. Types de machines électriques utilisées dans les systèmes éoliens	44
II.7.1. Le générateur asynchrone	44
II.7.1.1. Les avantages et les inconvénients	45
II.7.1.2. machine asynchrone à double alimentation	45
II.7.2. génératrice synchrone	46
II.7.2.1. Génératrice à aimants permanents	46
II.7.2.1.1. Les avantages et les inconvénients	47
II.8. Modélisation de la chaîne de conversion éolienne	48
II.8.1. Chaîne de conversion de l'énergie éolienne	48
II.8.2. Modélisation du moteur synchrone à aimants permanents	48
II.8.2.1. Transformation de Park	50
II.8.2.2. Expression de la puissance et du couple électromagnétique	51
II.8.2.3. Schéma fonctionnelle de la MSAP	53
II.8.3. Hacheur	54
II.8.3.1. Type	54
II.8.3.1.1. Hacheur série	54
II.8.3.1.1.1. Principe de fonctionnement	55
II.8.3.1.2. Hacheur parallèle	59
II.8.3.1.2.1. Principe de fonctionnement	59
II.8.4. Régulateurs de tension	62
II.8.4.1. Régulateur de tension positive	62
II.8.4.2. Régulateur de tension négative	62

Sommaire

II.8.4.3. Régulateur de tension variable LM317 .....	. 62
II.8.5. Stockage d'énergie électrique .....	. 66
La batterie .....	. 66
II.8.5.1. Composition .....	. 66
II.8.5.2. Types .....	. 66
1) Les piles primaires .....	. 66
2) Les batteries secondaires .....	. 66
Accumulateur au plomb .....	. 66
Installation .....	. 67
II.9. Conclusion .....	. 68

Chapitre III: Simulation de la génératrice éolienne et circuit de commande

Introduction .....	. 69
III.1. MATLAB Simulink .....	. 69
III.2. Description du système étudié .....	. 69
III.3. Simulation et interprétation des résultats .....	. 71
III.3.1. Résultats de la simulation .....	. 71
III.3.2. Interprétations .....	. 84
III.4. Manipulation .....	. 85
III.5. Conclusion .....	. 87
Conclusion générale .....	. 88
Bibliographia & Webographi .....	. 89
ANNEXS .....	. 92

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1.1: Moulin à vent utilisé lors du VIIème siècle avant de s'étendre dans l'Europe au XIIème siècle .....	. 4
Figure 1.2: Premières Turbines utilisées pour produire de l'électricité Éolienne de Poul .....	. 4
Figure 1.3: L'éolienne Gedser, le modèle de référence des éoliennes modernes .....	. 5
Figure 1.4: Eolienne a axe horizontal (Adrar) .....	. 6
Figure 1.5: Éolienne à axe horizontal .....	. 7
Figure 1.6: Configurations à axe horizontal .....	. 8
Figure 1.7: Éolienne à axe vertical .....	. 10
Figure 1.8: Schéma du rotor de Darrieus .....	. 10
Figure 1.9: Schéma de principe du rotor de Savonius .....	. 11
Figure 1.10: Schéma montrant les composantes d'une éolienne .....	. 12
Figure 1.11: hélice tripale .....	. 13
Figure 1.12: le mat .....	. 14
Figure 1.13: nacelle .....	. 14
Figure 1.14: Schéma montrant le fonctionnement d'une éolienne .....	. 15
Figure 1.15: ferme éolienne .....	. 17
Figure 1.16: Ferme éolienne offshore de Middelgrunden (Danemark) .....	. 17
Figure 1.17: Puissance éolienne installée annuelle mondiale .....	. 19
Figure 1.18: Production d'électricité éolienne des cinq pays leaders .....	. 20
Figure 1.19: Carte annuelle des vents (m/s) estimée à 10m du sol .....	. 22
Figure 1.20: Cellule de convection .....	. 23
Figure 1.21: Les différents connecteurs USB .....	. 25

Chapitre II

Figure II.1: EOLIENNE MARINE 504 12V.....	. 28
Figure II.2: Variation de la puissance en fonction de la vitesse vent .....	. 29
Figure II.3: Tube de courant d'air autour d'une éolienne .....	. 31
Figure II.4: Coefficient de puissance .....	. 35
Figure II.5: Caractéristique puissance-vitesse du vent d'une éolienne .....	. 36
Figure II.6: l'angle d'incidence i et de calage β et la vitesse relative sur la pale .....	. 38

Liste des figures

Figure II.7: Bilan des forces sur une pale .....	. 39
Figure II.8: Variation de l'angle de calage d'une pale .....	. 41
Figure II.9: Variation de coefficient de puissance CP en fonction du ratio λ de vitesse et l'angle de l'orientation de la pale β .....	. 42
Figure II.10: Flux d'air sur un profil de pale " stall " .....	. 43
Figure II.11: Schéma d'une machine asynchrone à double alimentation .....	. 45
Figure II.12: Système éolien basé sur une GSAP .....	. 47
Figure II.13: Structure de conversion de l'énergie éolienne .....	. 48
Figure II.14: Représentation d'une machine synchrone à aimants permanents .....	. 49
Figure II.15: Schéma équivalent de la MSAP dans le repère (d, q) .....	. 50
Figure II.16: Schéma bloc d'une MSAP dans le repère de Park .....	. 53
Figure II.17: Hacheur série .....	. 54
Figure II.18: Hacheur série sur PSIM .....	. 56
Figure II.19: Courbe de tension d'entrée du hacheur.....	. 57
Figure II.20: Courbe de tension de charge de sortie du hacheur .....	. 57
Figure II.21: Courbe de courant de sortie du hacheur .....	. 58
Figure II.22: Hacheur parallèle .....	. 59
Figure II.23: Hacheur parallèle sur PSIM .....	. 60
Figure II.24: Courbe de tension d'entrée du hacheur.....	. 61
Figure II.25: Courbe de tension et de courant de charge de sortie du hacheur .....	. 61
Figure II.26: Configuration des Pin .....	. 63
Figure II.27: Circuit régulateur de tension .....	. 64
Figure II.28: Exemples de Circuit de chargeur de batterie à courant constant .....	. 65
Figure II.29: Batterie au plomb .....	. 67
Figure II.30: Disposez les panneaux pour la batterie .....	. 67

Chapitre III

Figure III.1: Schéma bloc d'un PMSG modélisé avec simulink .....	. 70
Figure III.2: Bloc Simulink d'un wind PMSG .....	. 70
Figure III.3: Profile du vent appliqué (m/s) .....	. 71
Figure III.4: Contrôleur d'angle de pas (deg^0) .....	. 72
Figure III.5: Courbe de Coefficient de puissance C_p (λ) .....	. 72

Liste des figures

Figure III.6: Courbe de couple mécanique T_m (N.m)	. 73
Figure III.7: La courbe du moment électromagnétique T_e (N.m)	. 73
Figure III.8: Courbe de couple T_e et T_m (N.m)	. 74
Figure III.9: Vitesse du rotor ω_m (rad / s)	. 74
Figure III.10: Vitesse du rotor dans le temps en Pu	. 75
Figure III.11: Courbe de couple et de vitesse	. 75
Figure III.12: Courbe de tension V_{ab} (V)	. 76
Figure III.13: Courbe de tension de ligne efficace (V_{ab_rms})	. 76
Figure III.14: Courbe de courant de ligne I_l (A)	. 77
Figure III.15: Courbe de courant de ligne efficace RMS (I_{L_rms})	. 77
Figure III.16: Puissance produite par les éoliennes W_p (w)	. 78
Figure III.17: Représentation de Puissance active P (w) et puissance réactive Q (var)	. 78
Figure III.18: Changements de couple (mécanique T_m et électromagnétique T_e) et de vitesse du rotor ω_m	. 79
Figure III.19: Tension, courant et énergie produite	. 79
Figure III.20: Schéma bloc de Conversion triphasée en biphasée avec simulink	. 80
Figure III.21: La forme des tensions provenant du générateur	. 80
Figure III.22: Zoom sur les tensions provenant du générateur	. 81
Figure III.23: Tension et courant du bus continu	. 81
Figure III.24: Un circuit régulateur de tension simple est construit à partir de composants séparés (discrets)	. 82
Figure III.25: Tension du régulateur (V_e Input et V_{ch} Output)	. 82
Figure III.26: Courants de régulateur	. 83

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1.1: Production éolienne dans l'Union Européenne (GWh) 19

Tableau 1.2: Brochage de connecteur de type A 26

Chapitre II

Tableau II.1: Les catégories des éoliennes selon leur puissance 27

Tableau II.2: Les caractéristiques des éoliennes marine 504 12v 28

Tableau II.3: Les avantages et les inconvénients des machines asynchrones 45

Tableau II.4: Les avantages et les inconvénients de génératrice à aimant permanent . 47

Tableau II.5: Conditions de fonctionnement 63

Tableau II.6: Fonction de Pin 63

Chapitre III

Tableau III.1: Comparaison des résultats de la mesure expérimentale et du modèle
mathématique 71

Tableau III.2: Résultats des valeurs mesurées du modèle mathématique 84

Tableau III.3: Valeurs de tension et de courant aux niveaux de conversion et de régulation de
tension 84

Tableau III.4: Données sur la vitesse du vent pendant 7 jours 85

Tableau III.5: Valeurs électriques mesurées pour septembre 85

Tableau III.6: Valeurs électriques mesurées pour décembre 85

Tableau III.7: Valeurs électriques mesurées pour mars 86

Tableau III.8: Valeurs électriques mesurées pour le mois de juin 86

Tableau III.9: Le nombre de téléphones chargés, selon la puissance 86

Liste des Symboles et Abréviation

Symbole	Signification	Unité
P_{vent}	puissance disponible dans le vent	W
ρ	Masse volumique de l'air	kg/m ³
S	la surface circulaire balayée par la turbine	m ²
R	longueur de la pale (rayon des pales)	m
V_{vent}	la vitesse du vent	m/s
E_c	énergie cinétique	J
m	La mass de l'air	kg
Q_m	débit massique	kg/s
V	la vitesse du vent au niveau des pales de l'éolienne	m/s
P_m	puissance récupérable	W
$V_1; V_2$	vitesse du vent en amont et en aval de l'aérogénérateur	m/s
C_p	coefficient de puissance	
P_{turbin}	puissance aérodynamique	W
Ω_{turbin}	vitesse de rotation mécanique du rotor	rad/s
λ	Rapport de vitesse (Ratio de vitesse)	
β	Angle de calage des pales	deg°
α	Angle d'attaque	deg°
i	Angle d'incidence	deg°
V_r	vitesse relative de la pale	m/s
U	vitesse tangentielle du point considéré	m/s
L	portance	N
D	trainée	N
C_z	représente le coefficient de portance	
C_x	représente le coefficient de trainée	

l	longueur de la pale	m
C	Corde de la pale	m
F	force totale	N
C_r	représente le coefficient aérodynamique total	
f_i	finesse du profil	
α	Le rapport cyclique	
T	Période de fonctionnement	S
I_{CH}	Courant de charge	A
V_{CH}	Tension de charge	V
I_{out}	Courant	A
V_{out}	Tension de sortie	V
V_{ref}	Tension de référence	V
R_1, R_2	Les résistances de la régulation	Ω
C_{em}	Couple électromagnétique	N.m
C_r	Couple résistant	N.m
J	Moment d'inertie de la partie tournante	Kg/m ²
Ω	Vitesse mécanique	rad/s
f	Coefficient de frottement visqueux	N.m.s/rad

Raccourcis

MAS	Machine Asynchrone
MADA	machine asynchrone à double alimentation
MS	Machine Synchrone
GSAP	générateurs synchrones à aimants permanents
[Pb]	Plomb éponge
[PbO ₂]	Dioxyde de plomb
[H ₂ SO ₄]	D'acide sulfurique et d'eau distillée

Introduction générale

L'énergie électrique représente presque la moitié de l'énergie que nous consommons. Par nos comportements quotidiens, à la maison ou au travail, En consommant moins d'énergie et en favorisant le recours aux énergies renouvelables on veut faire face à l'épuisement des énergies fossiles, réduire les émissions de gaz à effet de serre et limiter les problèmes de changement climatique.

Pour la sauvegarde de notre planète des actions internationales, européennes, et nationales sont mises en place pour stabiliser l'émission de gaz à effet de serre. Dans ce cadre la plupart des pays développés ont pris pour développer le recours aux énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables sont des énergies exploitées par l'homme, de telle manière que leurs réserves ne s'épuisent pas

Les sources renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et biomasse.

Par conséquent, nous devons exploiter ces énergies, en particulier l'énergie éolienne, car c'est une solution qui répond aux besoins d'électricité, et elle présente de nombreux avantages en raison de sa flexibilité et de sa fiabilité.

Dans ce contexte, Nous avons divisé notre mémoire en trois chapitres

Dans le premier chapitre, nous avons fourni des informations générales sur l'énergie éolienne, les différents types de systèmes éoliennes et leurs composants et le principe de fonctionnement des éoliennes. Les avantages et les inconvénients des éoliennes sont mentionnés en plus des concepts généraux sur le vent. Leur situation actuelle dans le monde, notamment en Algérie, ainsi qu'un aperçu des stations de recharge USB avec mention des différents connecteurs et applications USB.

Dans le deuxième chapitre, on présentera les notions théoriques de l'éolienne et des forces qui s'appliquent à elle, ainsi que on proposera une chaîne de conversion de l'énergie éolienne puis modéliser les éléments principaux de cette chaîne pour donner au mieux représentation permettant la simulation du système.

Introduction générale

Au chapitre trois, nous avons analysé et simulé un Système de générateur de vent sous Matlab Simulink. Pour concrétiser notre travail, nous avons validé nos résultats par simulation sous Matlab à l'aide de la bibliothèque Simpower.

Enfin, nous terminons notre document par une conclusion générale.

Chapitre 01

Généralité sur les
génératrice éolienne
&
les stations de recharge
USB

Introduction

Ces dernières années, l'intérêt dans l'utilisation des énergies renouvelables ne cesse d'augmenter, car l'être humain est de plus en plus concerné par les problèmes environnementaux. Parmi ces énergies, on trouve l'énergie éolienne.

Comme nous savons que le vent est une ressource propre et inépuisable, grâce à lui nous pouvons produire de l'électricité pratiquement sans émettre de gaz pollués, en utilisant de nombreuses technologies et des stratégies pour capter cette l'énergie.

Tout cela nous permet de capter l'énergie maximale sur la plus grande plage du vent possible

Les technologies qui permettent de capter l'énergie éolienne peuvent être classées en deux catégories :

- l'éolien au sol qui permet de capter l'énergie du vent à basse altitude
- l'éolien en altitude qui permet de capter l'énergie du vent de haute altitude

Nous s'est engagée à développer le recours aux énergies renouvelables et favorise l'énergie éolienne.

I.1. Historique

Les moulins à vent

Pendant des siècles, l'énergie éolienne a été utilisée pour fournir un travail mécanique. Les premières utilisations du vent en tant qu'énergie par l'homme remontent aux moulins à vent.

Les premiers moulins à vent sont apparus à l'an 600, tout d'abord en Orient puis en Egypte.

Ils produisaient une énergie mécanique qui servaient à moudre les grains mais aussi à pomper l'eau pour irriguer les cultures.

Près de 400 ans plus tard, les moulins à vent font leur apparition en Europe,



Figure 1.1: Moulin à vent utilisé lors du VIIème siècle avant de s'étendre dans l'Europe au XIIème siècle. [10]

Les premières éoliennes

Les premières éoliennes ne font véritablement leur apparition qu'à la fin du XIXème siècle, sous forme expérimentale. C'est Charles Francis Bush qui conçoit ce dispositif en premier pour alimenter sa maison en électricité, en 1888. L'éolienne fonctionne avec des pales à axe vertical et plusieurs accumulateurs pour stocker l'énergie produite. Par la suite, le dispositif éolien de Charles F. Bush est repris par le danois Poul La Cour qui dessine plusieurs éoliennes industrielles dont une qui sera vendue en 72 exemplaires au début du XXème siècle. Ces éoliennes visaient à produire de l'hydrogène en utilisant la force du vent pour la convertir en énergie chimique par un processus d'électrolyse.



Figure 1.2: Premières Turbines utilisées pour produire de l'électricité Éolienne de Poul. [17]

Les années 1900 à aujourd'hui

Pendant tout le XXème siècle, de nombreux essais seront réalisés. En 1957, Johannes Juul crée une turbine qu'il appellera Gedser et qui sert encore aujourd'hui de modèle aux éoliennes modernes. Aux États-Unis, en Grande-Bretagne et en France seront réalisées des éoliennes dont la puissance pourra aller jusqu'à 1 000 kW. [7]



Figure 1.3: L'éolienne Gedser, le modèle de référence des éoliennes modernes. [7]

L'avènement de l'électricité au XXème siècle fait place aux premiers modèles d'éoliennes modernes.

La plus grande éolienne de pompage a été installée en 1953 à Adrar par les services de la colonisation et de l'hydraulique. Montée sur un mât de 25 mètres de hauteur, cette machine à trois pales de 15mètres de diamètre a fonctionné pendant près de 10 ans.



Figure 1.4: Eolienne a axe horizontal (Adrar).

Il y eut également une éolienne raccordée au secteur sur les hauteurs d'Alger (Dély-Ibrahim) en 1957.

Enfin, dans les années qui suivirent de nombreux progrès techniques ont permis la construction de l'éolienne que l'on trouve de nos jours.

I.2. qu'est-ce qu'une éolienne

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis finalement en énergie électrique à l'aide du générateur (qui convertit les mouvements de rotation en électricité).

L'électricité produit est transférée au sol par des câbles situés dans le mat est ensuite injectée dans le réseau électrique ou dirigés vers des batteries de stockage.

La quantité d'énergie éolienne produite dépend de la vitesse du vent, et plus la vitesse du vent est élevée, plus l'énergie produite est importante.

I.3. Classification des éoliennes

Il existe deux types d'éoliennes choisis principalement en fonction de leur lieu géographique:

- Les éoliennes à axe horizontal.
- Les éoliennes à axe vertical.

I.3.1. Éoliennes à axe horizontal

Il s'agit d'éolienne a hélice perpendiculaire au vent, placé sur un mât. Elles sont constituées d'une à trois pales profilées aérodynamique-ment.

Le plus souvent le rotor de ces éoliennes est tripale, car trois pales constituent un bon compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien ainsi que l'aspect esthétique par rapport aux autre(bipales...)

La hauteur est généralement de 20 m pour les petites éoliennes, et supérieure au double de la longueur d'une pale pour les modèles de grande envergure.

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement aérodynamique est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et ont un coût moins important.



Figure 1.5: Éolienne à axe horizontal. [7]

- ❖ Il existe deux catégories d'éolienne à axe horizontal: [4]

I.3.1.1. éolienne à axe horizontal amont

- le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle. Les pales sont rigides, et le rotor est orienté selon la direction du vent par un dispositif.

I.3.1.2. éolienne à axe horizontal aval

- le vent souffle sur l'arrière des pales en partant de la nacelle. Le rotor est flexible, auto-orientable.

❖ La disposition turbine en amont est la plus utilisée car plus simple et donne de meilleurs résultats pour les fortes puissances : pas de gouverne, les efforts de manœuvre sont moins importants et il y a une meilleure stabilité.

❖ Les pales des éoliennes à axe horizontal doivent toujours être orientées selon la direction du vent. Pour cela, il existe des dispositifs d'orientation de la nacelle en fonction de cette direction.

❖ Aujourd'hui, l'éolienne à axe horizontal avec un rotor du type hélice, présente un réel intérêt pour la production d'électricité à grande échelle.

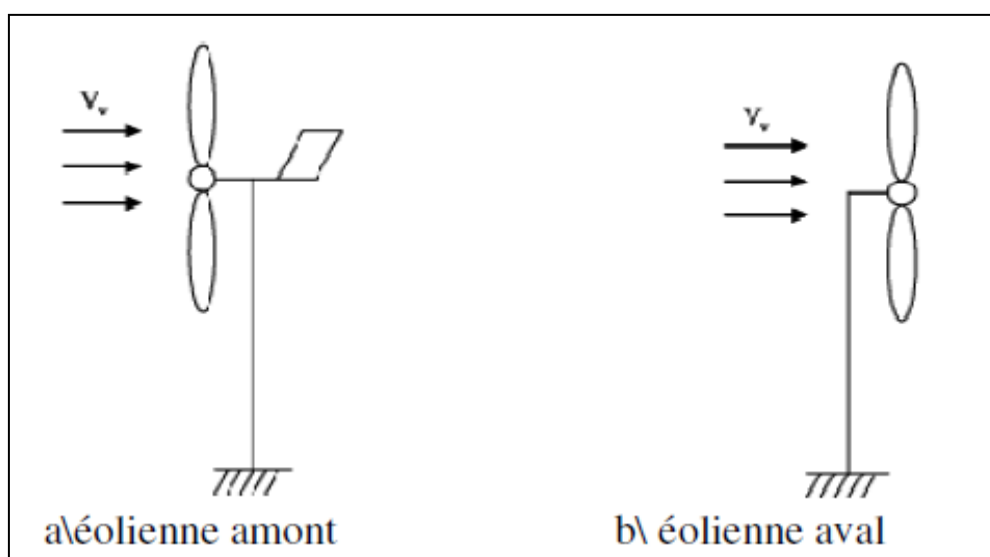


Figure 1.6: Configurations à axe horizontal.

- ✚ Les avantages et les inconvénients de l'éolienne à axe horizontale. [2]-[7]

I.3.1.3. les avantage

- Son rendement est élevé.
- Elle est équipée d'un système qui permet de les orienter en fonction du vent.
- Elle est plus solide.
- ce type d'éolienne étant plus répandu, trouver un vendeur ou un installateur est plus aisé.
- Cette structure capte le vent en hauteur, donc plus fort et plus régulier qu'au voisinage du sol.

I.3.1.4. les inconvénients

- Moins résistante aux vents forts que l'éolienne verticale.
- l'éolienne horizontale met plus de temps à se déclencher qu'une éolienne verticale. En effet, elle doit s'orienter par rapport à la direction du vent, ce qui retarde d'autant son déclenchement.
- L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.
- Elle fait beaucoup de bruit.
- Cout de construction très élevé.

I.3.2. Éoliennes à axe vertical

Les pylônes des éoliennes à axe vertical sont courts, entre 0,1 et 0,5 fois la hauteur du rotor. Cela permet de placer tout le dispositif de conversion de l'énergie (génératrice, multiplicateur, etc.) au pied de l'éolienne, facilitant ainsi les opérations de maintenance.

De plus, il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif d'orientation du rotor comme pour les éoliennes à axe horizontal. Cependant, les vents sont faibles à proximité du sol, ce qui induit un moins bon rendement car l'éolienne subit les turbulences du vent. De plus, ces éoliennes doivent être entraînées au démarrage et le mât subit de fortes contraintes mécaniques. Pour ces raisons, de nos jours, les constructeurs d'éoliennes privilégient les éoliennes à axe horizontal.

Les deux types de structures d'éoliennes à axe vertical les plus répandues reposent sur les principes de traînée différentielle ou de la variation cyclique d'incidence : [6]



Figure 1.7: Éolienne à axe vertical

I.3.2.1. le rotor de Darrieus

Est basé sur le principe de la variation cyclique d'incidence.

Un profil placé dans un écoulement d'air selon différents angles, est soumis à des forces d'intensités et de directions variables. La résultante de ces forces génère alors un couple moteur entraînant la rotation du dispositif.

Pour l'instant les éoliennes a axe vertical sont encore peu utilisés dans le monde car celle-ci sont moins avantageuses .Elles ont un rendement inférieur aux éoliennes a axe horizontal.

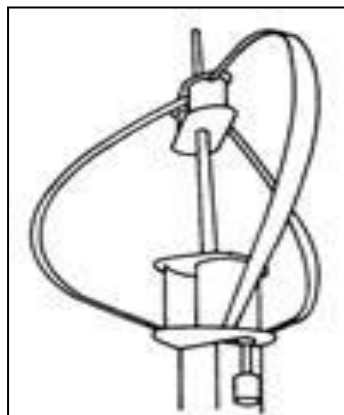


Figure 1.8: Schéma du rotor de Darrieus. [14]

I.3.2.2. le rotor de Savonius

Dont le fonctionnement est basé sur le principe de la traînée différentielle.

Les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensités différentes. Il en résulte un couple entraînant la rotation de l'ensemble.

Les avantages et les inconvénients de l'éolienne à axe vertical. [7]

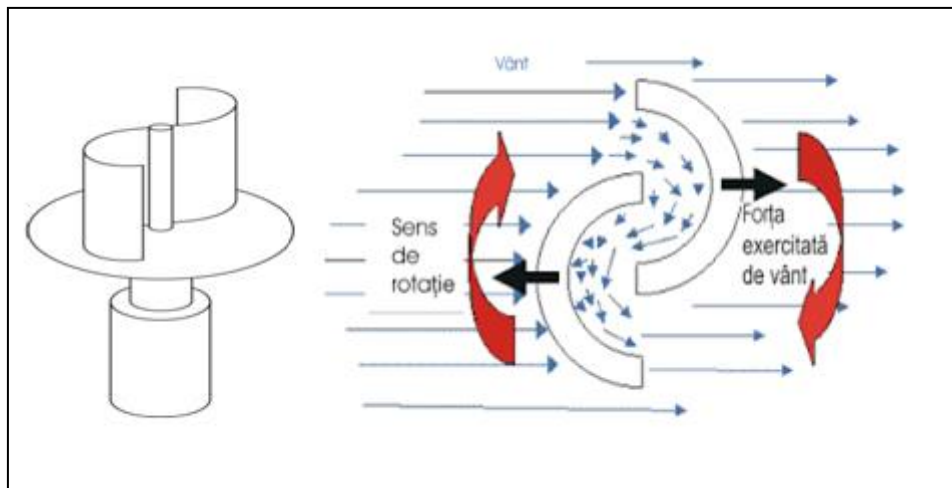


Figure 1.9: Schéma de principe du rotor de Savonius. [13]

✚ Les avantages et les inconvénients de l'éolienne à axe vertical. [1]-[3]

I.3.2.3. les avantage

- Elle est plus facile d'accès.
- La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur, la génératrice et les appareils de commande directement au sol.
- Sa conception est plus simple que l'éolienne à axe horizontal et nécessite peu d'entretien.
- Elle ne nécessite pas de système d'orientation par rapport à la direction du vent, ce qui constitue un avantage de construction non négligeable.
- Lors du fonctionnement, elle n'est pas soumise aux contraintes importantes sur les pales aux changements d'orientations.
- Un autre avantage est son adaptation. Quelque soit le sens du vent, votre éolienne verticale pourra capter ce vent et donc produire de l'électricité.
- Le dernier gros avantage de l'éolienne verticale est sa taille. Pas la peine d'avoir un emplacement immense, le modèle vertical peut se mettre dans les petits espaces, on le retrouve la plupart du temps sur les toits des maisons.

I.3.2.4. les inconvénients

- celui d'être moins productive. Elle produit moins que les éoliennes horizontales ; ce qui est pénalisant pour la rentabilisation de son installation.
- En plus, ces éoliennes sont peu commercialisées dans le marché éolien des particuliers.
- Elle ne démarre pas automatiquement, il faut utiliser la génératrice comme moteur pour permettre le démarrage de l'éolienne.
- Son rendement est faible et sont moins performances que celles à axe horizontal.
- La conception verticale de ce type d'éolienne impose qu'elle fonctionne avec des vent proche du sol, les vents sont donc très faibles dans la partie inférieure du rotor donc moins fort.

I.4. Eléments constituant d'une éolienne

L'éolienne est composé de deux parties : une partie mobile le rotor et une partie fixé le stator.

Une éolienne "classique" est généralement constituée de : [7]

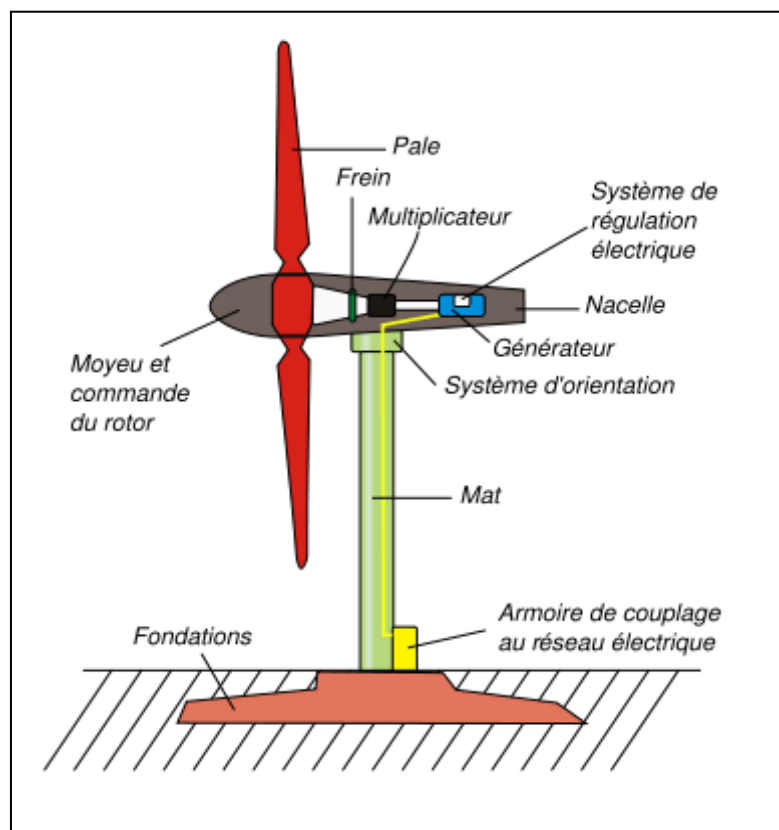


Figure 1.10: Schéma montrant les composantes d'une éolienne. [1]

1- Le rotor :

Aussi appelé hélice, est la partie tournante de l'éolienne. Il est composé des pales et du moyeu et permet la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, Le diamètre du rotor détermine la puissance éolienne qui pourra être récupérée par l'éolienne.

❖ Les pales sont aujourd'hui fabriquées avec des matériaux légers comme :le polyester, Elles ont pour rôle de capter l'énergie du vent et de la transférer ensuite au rotor

- Leur longueur atteint actuellement de 30 à 55 mètres soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètre.

- Le nombre de pales peut varier suivant les éoliennes. Actuellement,

- le système tripale est le plus utilisé car il permet de limiter les vibrations, le bruit et la fatigue du rotor par rapport à un système bipale ou mono pale.

❖ Le rotor est relié à la nacelle par le moyeu. [4]



Figure 1.11: hélice tripale. [1]

2- Le mât :

Est généralement un tube en acier ou en béton, Il supporte le rotor et la nacelle. Plus la hauteur du mât augmente plus la vitesse du vent et le coût de la structure augmentent. Généralement on choisit un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre des pales.

Le mât renferme les câbles qui assurent la liaison au réseau de distribution.



Figure 1.12: le mat. [5]

3- La nacelle :

La nacelle est une structure en acier ou en fonte, elle se situe en haut du mât et contient tout les équipements et composants nécessaires au fonctionnement du rotor.



Figure 1.13: nacelle. [1]

3-1- Le multiplicateur :

il sert à multiplier la vitesse.

3-2- La génératrice :

Un générateur électrique est un dispositif qui transforme l'énergie mécanique (l'énergie mécanique transmise par le rotor à partir de l'énergie cinétique du vent) pour produire l'énergie électrique, et constituée d'un rotor (partie mobile) et d'un stator (partie fixe) générant un courant alternatif.

3-3- Le système de régulation électrique :

Il permet de ralentir le rotor du générateur en cas de surrégime.

3-4- Le système d'orientation :

Pivot d'orientation (couronne dentée : crémaillère) équipée d'un moteur. Il permet d'orienter la nacelle afin que les pales soient bien en face du vent pour produire le maximum d'énergie possible.

3-5- Le frein :

Pour stopper l'éolienne au cas où les vents dépasseraient les 90 km/h soit environ 30 tours/minute

(C'est la limite supporté par les éoliennes aujourd'hui). [6]

I.5. le principe de fonctionnement d'une éolienne

Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent. Sa force actionne les pales du rotor, qui met en mouvement un alternateur.

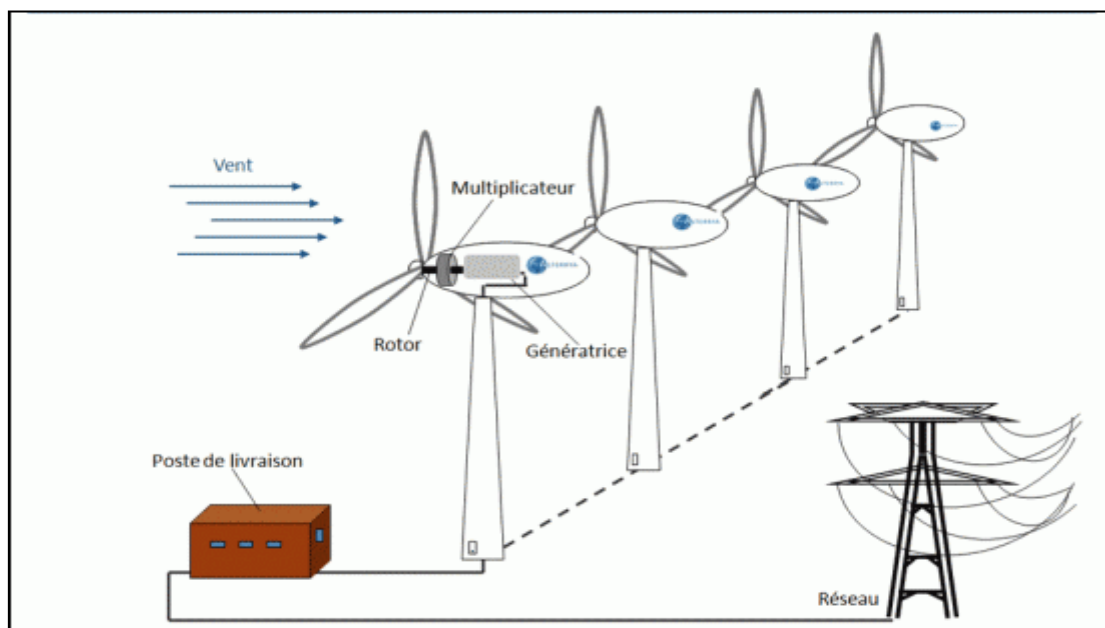


Figure 1.14: Schéma montrant le fonctionnement d'une éolienne. [7]

1- La rotation des pales

Sous l'effet du vent, l'hélice, appelée aussi rotor, se met en marche. Ses pales tournent. (Le rotor est généralement composé de 3 pales)

2- La production d'électricité

L'hélice entraîne un axe dans la nacelle, appelé arbre, relié à un alternateur.

L'énergie fournie par la rotation de l'axe va permettre à l'alternateur de produire un courant électrique alternatif.

3- L'adaptation de la tension

Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau.

Pour pouvoir démarrer, une éolienne nécessite une vitesse de vent minimale d'environ 10 à 15 km/h, l'éolienne s'arrête automatiquement lorsque le vent dépasse 90 km/h (pour sécurité). La vitesse optimale est de 50 km/h.

Résumer du fonctionnement

Son principe de fonctionnement est donc relativement simple, pour résumer

Le vent fait tourner les pales, qui à leur tour font tourner le générateur. A son tour le générateur va transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. L'électricité est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage. [7]

I.6. Type d'installation d'éolienne

❖ Une éolienne occupe une faible surface au sol. Ceci est un énorme avantage pour son installation qui perturbe peu les sites et permet de conserver des activités industrielles ou agricoles à proximité.

❖ On retrouve l'éolienne dite individuelle installée en site isolé. L'éolienne n'est pas raccordée au réseau, elle n'est pas reliée à d'autres éoliennes.

❖ Sinon les éoliennes sont regroupées sous forme de fermes éoliennes. Les installations peuvent être réalisées sur terre ou de plus en plus en mer avec les fermes éoliennes offshore où la présence du vent est plus régulière. Avec ce dernier type d'installation, on réduit les nuisances sonores et on améliore l'esthétique. [6]

I.6.1. Parcs éoliens

Un parc éolien est un groupe d'éoliennes en un seul endroit utilisé pour la production d'électricité.

Un grand parc éolien peut comprendre plusieurs centaines d'éoliennes individuelles réparties sur une zone étendue, Il se trouve en général dans un lieu où le vent est fort ou régulier, Presque toutes les grandes éoliennes ont la même conception.

Les éoliennes ont un axe horizontal rotatif avec trois pales dirigées en face Au vent, attaché à la structure d'entraînement au sommet d'une longue tour tubulaire.



Figure 1.15: ferme éolienne. [11]

I.6.2. Les éoliennes offshores

C'est à dire la construction de parcs éoliens au milieu de grandes étendues d'eau pour produire de l'électricité à partir du vent, fonctionne de la même manière qu'une éolienne terrestre

Ces installations peuvent profiter des vents les plus fréquents et des vents forts qui sont disponibles à ces endroits par rapport aux vitesses des vents à la surface de la Terre.

Malgré ses avantages, il coûte cher en construction et en maintenance.



Figure 1.16: Ferme éolienne offshore de Middelgrunden (Danemark). [12]

I.7. utilisation

L'énergie éolienne est utilisée de trois manières :

- ❖ avec conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile).
- ❖ transformation en force motrice (pompage de liquides, compression de fluides...), pompage de l'eau (moulins de Majorque.....).
- ❖ production d'énergie électrique : l'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif.

Le générateur est relié à un réseau électrique ou fonctionne au sein d'un système « autonome » avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou une batterie de stockage de l'énergie.

➤ d'autre utilisation:

- ❖ La recharge de batteries pour fournir de l'électricité de base (éclairage, radio, petit poste de télévision) à une famille isolée au moyen de petits aérogénérateurs.

I.8. Situation de l'énergie éolienne dans le monde

I.8.1. En Europe

L'énergie éolienne a produit 14,5 % de l'électricité consommée en Europe en 2019, contre 14 % en 2018 et 11,6 % en 2017.

(48 % au Danemark, 33 % en Irlande, 27 % au Portugal, 26 % en Allemagne, 22 % au Royaume-Uni, 21 % en Espagne) et représentait 30 % de la puissance installée éolienne mondiale en 2018.

La puissance des nouvelles éoliennes installées en 2019 s'élève à 15,4 GW, dont 3,6 GW en offshore.

Le Royaume-Uni a installé 2,4 GW, l'Espagne 2,3 GW, l'Allemagne 2,2 GW, la Suède 1,6 GW et la France 1,3 GW

L'éolien en mer représente en Europe 16 % de la production éolienne en 2019 ; 79 % de la puissance installée éolienne en mer mondiale se trouvait en Europe fin 2018.

L'association européenne pour l'énergie du vent estime que 12% de l'électricité mondiale sera d'origine éolienne en 2020 (Fin 2020, au moins 1 500 000 MW peuvent être attendus) et plus de 20% pour 2040

Tableau 1.1: Production éolienne dans l'Union Européenne (GWh). [Tab]

Pays	2010	2015	2016	2017	2018	Part de la consommation couvert par la production éolienne du pays en 2019(%)
Danemark	7809	14133	12782	14772	13892	48%
Portugal	9182	11607	12474	12248	12657	27%
Allemagne	37393	79206	78598	105693	111590	26%
Royaume-Uni	10286	40317	37367	50004	55802	22%
Espagne	44271	49325	48906	49127	50787	21%
France	9945	21249	21400	24711	27900	7%
Italie	9126	14844	17689	17742	17492	7%

Puissance installée éolienne

En 2019, les nouvelles installations ont atteint 15 369 MW en Europe, en progression de 27 % par rapport à 2018, mais 10 % au-dessous du record de 2017, dont 13 179 MW dans l'Union européenne : 9 552 MW d'éoliennes terrestres et 3 627 MW d'éoliennes en mer ; 178 MW ont été déclassés. La puissance installée éolienne de l'Europe s'élève donc à 204 814 MW fin 2019, dont 192 231 MW dans l'Union européenne.

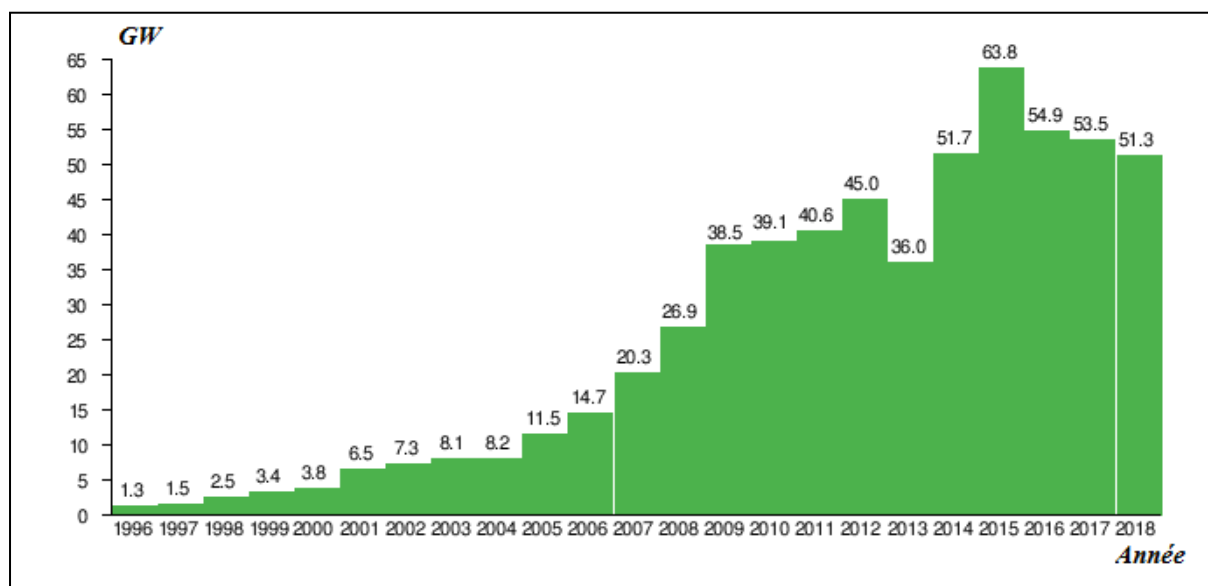


Figure 1.17: Puissance éolienne installée annuelle mondiale.

I.8.2. En Amérique

En 2018, les États-Unis se classaient au 2^{ème} rang mondial derrière la Chine pour la production éolienne avec 22,9 % du total mondial, et au 2^{ème} rang également pour la puissance installée éolienne; les éoliennes ont produit 6,5 % de l'électricité du pays en 2018.

La plupart des installations éoliennes sont construites dans le centre et l'ouest des États-Unis. En 2017, cinq États ont tiré du vent plus de 20 % de leur électricité :

l'Iowa (36,9 %), le Kansas, l'Oklahoma, le Dakota du Sud et le Dakota du Nord. Quatorze États ont dépassé le seuil de 10 % de production éolienne.

Les principaux États producteurs sont en 2018 le Texas (75,75 TWh, soit 27,6 % du total national), l'Oklahoma (27,6 TWh), l'Iowa (21,7 TWh), le Kansas (19,3 TWh), la Californie (13,65 TWh), l'Illinois (12,8 TWh), le Minnesota (11,3 TWh) et le Dakota du nord (10,8 TWh).[PDF]

I.8.3. En Asie-Pacifique

En 2018, la région Asie-Pacifique a conforté son rang en tête du classement des continents par puissance éolienne installée avec 261 152 MW, soit 44 % du total mondial, dont 211 392 MW en Chine, 35 129 MW en Inde et 5 362 MW en Australie. Les nouvelles installations se sont élevées à 26 737 MW, soit 52 % du marché mondial, dont 23 000 MW en Chine, 2 191 MW en Inde et 549 MW en Australie

Au cours de l'année 2017, cette puissance installée s'est accrue de 24 447 MW, soit +12 % et 46,5 % du total mondial des mises en service de l'année. La Chine à elle seule, avec ses 188 232 MW, représente 82,4 % du total installé en Asie fin 2017 et 79,8 % des installations de l'année. L'Inde suit loin derrière avec 32 848 MW (14,4 % du cumul et 17 % de l'accroissement).

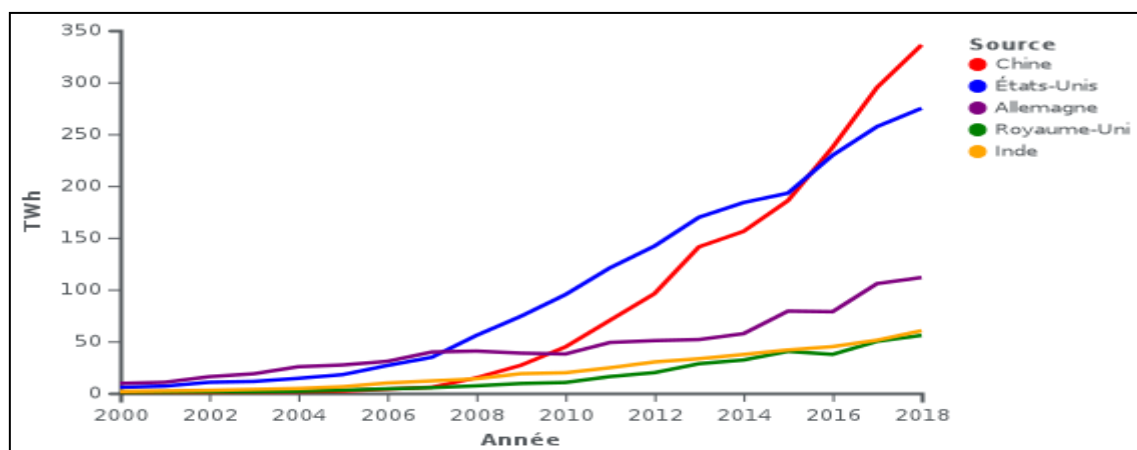


Figure 1.18: Production d'électricité éolienne des cinq pays leaders. [15]

I.8.4. En Afrique

La puissance éolienne installée en Afrique a progressé de 20 % en 2018, passant de 4 758 MW fin 2017 à 5 720 MW fin 2018, dont 2 085 MW en Afrique du Sud et 1 190 MW en Égypte. Les ajouts de 2018 ont été de 962 MW, dont 380 MW en Égypte et 310 MW au Kenya

- ❖ L'Égypte se place au second rang en Afrique avec 1 190 MW fin 2018, suivie du Maroc avec 787 MW ; au 4^{ème} rang arrive l'Éthiopie avec 324 MW, suivie de la Tunisie avec 245 MW.
- ❖ Le Maroc dispose à la fin de 2019 d'une puissance installée éolienne de 1 215 MW.

I.9. L'énergie éolienne en Algérie**Programme de développement des énergies renouvelables en Algérie**

En 2011, une décision a été prise sur l'orientation de l'Algérie vers les énergies renouvelables. En conséquence, un programme de développement très ambitieux pour ces énergies renouvelables a été approuvé par le gouvernement, visant la contribution de ces énergies à 40% de la production nationale d'électricité d'ici 2030. Dans ce cadre, 65 projets pour la période 2011/2020, dont 10 pour la phase pilote 2011 2013 seulement. Ces projets seront mis en œuvre dans le but de produire 22 000 MW d'ici 2030, dont 10 000 MW pourront être alloués à l'exportation

En ce qui concerne l'emploi, la mise en œuvre du programme énergies renouvelables fournit plus de 200 000 emplois directs et indirects.⁹

En conséquence, l'Algérie vise à investir dans la production d'électricité à partir du secteur éolien pour atteindre 3% du budget national d'ici 2027. Le groupe Sonelgaz a franchi la première étape qu'il a engagée. Du premier parc éolien de 10 mégawatts à Adrar au groupe français Vergnet. L'énergie produite par cette ferme, qui sera opérationnelle en 2014, sera pompée vers le réseau électrique de l'État d'Adrar.

Gisement éolien en Algérie (Champ éolien)

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie considérablement d'un endroit à l'autre. Cela est principalement dû au terrain et au climat très divers, Le sud de l'Algérie se caractérise par des vitesses plus élevées que le nord, en particulier le sud-ouest, à des vitesses

supérieures à 4 m / s et dépassant une valeur de 6 m / s dans la région de l'Adrar. Concernant le Nord, on note généralement que la vitesse moyenne est faible. [9]

Le **figure 1.19** est présentée une carte des vitesses moyennes annuelles du vent à 10 mètres au-dessus du sol.

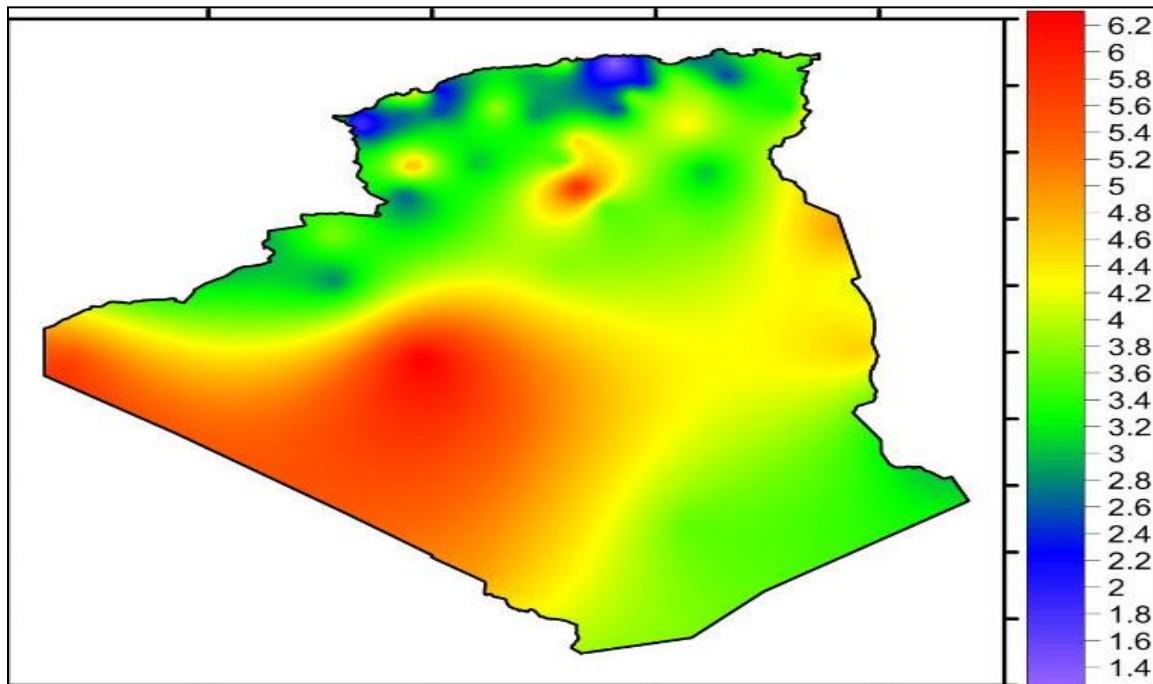


Figure 1.19: Carte annuelle des vents (m/s) estimée à 10m du sol. [16]

Une carte des vents algériens, estimés à 10 mètres du sol, est présentée sur la figure. Les vitesses annuelles moyennes obtenues varient de 1,4 à 6,2 m / s. On note qu'à l'exception de la région côtière (moins Bejaia et Oran), Tassili et Beni Abbas, la vitesse moyenne du vent est supérieure à 3 m / s. La région centrale de l'Algérie est caractérisée par des vitesses de vent allant de 3 à 4 m / s, et elle augmente à mesure qu'elle descend vers le sud-ouest. Le maximum est obtenu pour la région d'Adrar avec une valeur moyenne de 6,2 m / s [1]. Cependant, on peut remarquer qu'il existe de nombreux petits climats où la vitesse dépasse 4 m / s comme c'est le cas dans les régions de Tiaret, Tindouf et Oran. [16]

I.10. Le vent (force de la nature)

Les vents sont causés par les fluctuations de la chaleur du soleil à la surface de la terre et dans l'atmosphère. L'eau et la terre sont réchauffées par le Soleil, et cette chaleur qui se crée, est absorbée par l'air ambiant. Lorsque l'air atteint une certaine température, il s'élève

rapidement, générant ainsi une zone de basse pression au niveau du sol et, au-dessus, une zone de haute pression. L'air circule naturellement des zones de haute pression vers les zones de basse pression; le vent est le résultat de ce mouvement. [1]

La cellule de convection illustre le changement de température de l'air, ainsi que son déplacement :

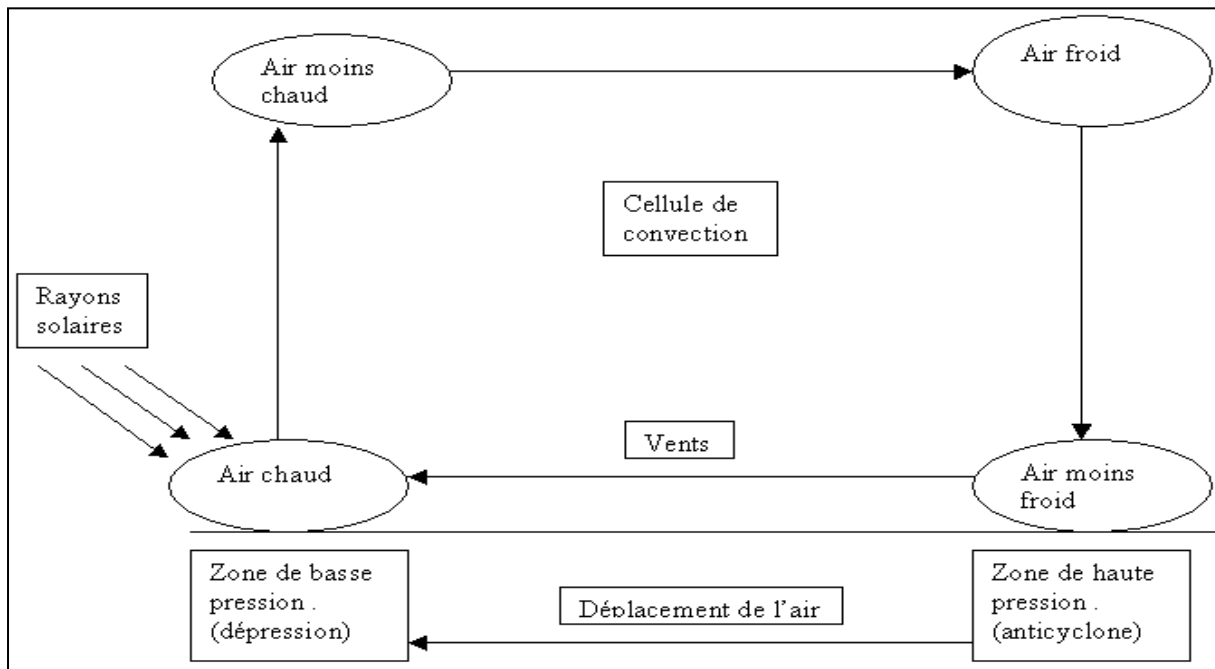


Figure 1.20: Cellule de convection. [1]

I.11. Les avantages et les inconvénients des éoliennes

Les avantages:

- Le vent : une énergie propre et renouvelable, disponible partout et gratuit.
- et son exploitation est sans danger.
- C'est aujourd'hui l'énergie propre la moins coûteuse à produire par rapport aux autres énergies.
- L'énergie éolienne est une énergie propre, ne crée pas de gaz à effet de serre au cours de son cycle de vie.

- Une éolienne est en grande partie recyclable Après son temps de fonctionnement (environ 20 ans), Elle n'aura laissé aucun produit contaminant autour d'elle et pourra être facilement remplacée.
- L'énergie éolienne offre la possibilité de réduire les factures d'électricité et peut permettre de nous mettre à l'abri des ruptures de courant.

Les inconvénients:

- la production de l'électricité n'est pas stable: cela dépend de la force du vent
- Problème de bruit produire par les éoliennes peut être dérangeant
- L'énergie éolienne est dépendante de la topographie, de l'environnement et de la météo.
- La localisation : elle est limitée aux zones venteuses. Il y a donc nécessité de transporter l'électricité vers les zones consommatrices.
- Des coûts d'investissement énormes.

On peut voir que l'éolienne a beaucoup plus d'avantages que d'inconvénients, on peut conclure que l'éolienne est importante sur la Terre avec des atouts indispensables que les autres énergies n'ont pas. [1]-[4]

I.12. Station de recharge USB

Chargeur USB : est un dispositif qui permet de charger les différents appareils "chargement via USB "

Ne chargez pas vos appareils séparément, chargez les tous en même temps à l'aide de la station de charge multiports USB, c'est un Système de recharge intelligent qui fournit la puissance adéquate à chaque appareil.

Il fournit la protection comme : protection contre les surtensions, court-circuit, surintensité, surchauffe, etc...

parfait pour les voyageurs, les étudiants, utiliser à la maison, au bureau, en voiture

Compatible pour les différents appareils (téléphone mobile, tablette, appareil photo, etc.)

Permis les stations de recharge :

La station de recharge RockStar™ 10 ports USB de Belkin offre un chargement optimal pour tous types d'appareils mobiles, y compris pour les Smartphones et tablettes.

Dotée d'un système d'alimentation intelligent, cette station de recharge rapide et sécurisée détecte la puissance de charge nécessaire à chacun des appareils branchés, et ce, même si les 10 ports USB sont utilisés. Les appareils connectés à la station de recharge sont également couverts par la garantie Belkin, à hauteur de 4 000 €.

Grâce à son bloc d'alimentation externe de 120 watts, cette station de recharge fournit 2,4 A sur chacun des ports USB. Vous obtenez ainsi un rechargement optimal pour chaque appareil connecté, et ce, quel que soit le nombre ou la taille des appareils branchés.

USB :

USB, "Universal Serial Bus" est un connecteur qui permet la connexion de périphériques externes, tels que des clés USB ou des disques durs externes.

Disponible en plusieurs versions, cette connexion fournit un débit de données allant de 1,5 Mbit/s (USB v1.0) à 20 Gbit/s (USB 3.2).

Il peut également être utilisé pour alimenter des appareils externes ou pour transmettre des signaux audio / vidéo selon la version.

Il existe plusieurs connecteurs USB:

USB type A

USB type B

USB type C

Mini USB type A

Mini USB type B

Micro USB type A

Micro USB type B.

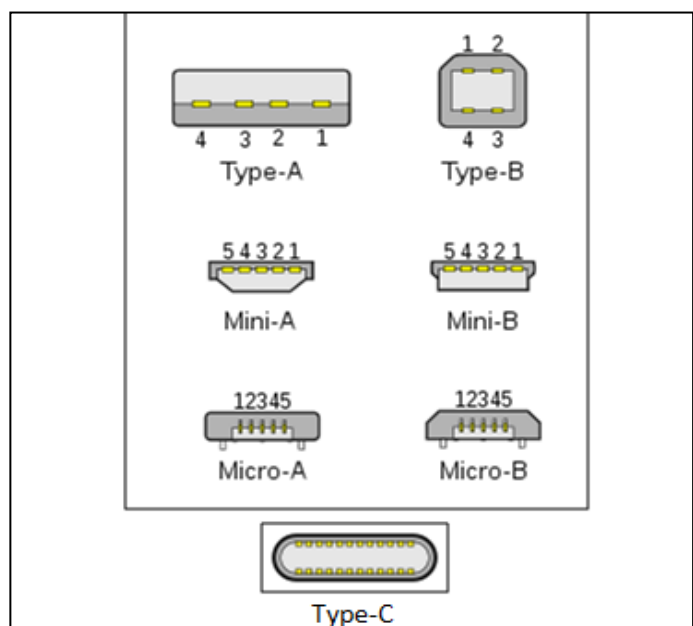


Figure 1.21: Les différents connecteurs USB. [18]

Applications de l'USB :

- Pour le transfert des données.
- Pour l'alimentation électrique.

Brochage :

Le nombre de broches sur les connecteurs peut varier en fonction de la norme de connexion USB.

Les connecteurs de première génération se composent de quatre broches:

Un utilisé pour transmettre l'énergie électrique (5V, 500mAh)

Deux sont utilisés pour transférer des données

Ce dernier joue le rôle de la masse.

Le brochage de connecteur de type A est le suivant :

Tableau 1.2: brochage de connecteur de type A.

Pin	Couleur	Description
1	Rouge	Alimentation +5v (VBUS)
2	Blanc	Données (D-)
3	Vert	Données (D+)
4	Noir	Mass (GND)

I.13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur l'énergie éolienne, son concept et ses différents types avec les avantages et les inconvénients de chaque type. Nous avons également parlé des principaux composants des éoliennes et son principe de fonctionnement.

Enfin, on a donné un aperçu sur la situation actuelle de l'énergie éolienne dans le monde et en Algérie, de plus on a également parlé sur les stations de recharge USB.

Chapitre 02

Etude et modélisation
du système générateur

&

du chargeur USB

Introduction

Dans ce chapitre, nous étudierons les éoliennes, notamment celles à axe horizontal, en appliquant les lois théoriques pour tirer le maximum d'énergie possible des éoliennes. Ensuite nous étudierons la chaîne de conversion et la modélisation et simulation de tous les éléments qui composent cette chaîne de production.

II.1. Types de modèles d'éoliennes "axe horizontal"

Les éoliennes peuvent être classées en trois catégories selon leur puissance nominale comme il est indiqué sur le tableau suivant:

Tableau II.1: Les catégories des éoliennes selon leur puissance. [26]

Echelle	Diamètre des pales	Valeurs de puissance	utilisation
Petite puissance	<12 m	< 40 kW	♦Chargement des batteries pour voitures et bateaux de plaisance.
Moyenne puissance	12 à 45 m	40 kW à 1 MW	♦ Pompe à eau.
grande puissance	> 46 m	> 1 MW	♦ pour de grandes charges. ♦ Applications maison.

EOLIENNE MARINE 504 12V

Description

L'Eolienne 504 12 volts RUTLAND est destinée à recharger les batteries 12V de votre bateau par l'intermédiaire de l'énergie naturelle du vent.

Cette éolienne marine est la plus efficace de sa catégorie pour les petites unités jusqu'à 10m environ.

Les pales des éoliennes Rutland sont en nylon et fibre de verre moulus très robustes.

Silencieuses et extrêmement simples à installer, les éoliennes Rutland sont efficaces même par vent faible, 5 nœuds suffisent à les faire démarrer.

Reliée à un régulateur de charge, vous pourrez maintenir à plein régime votre parc batterie et ne plus vous priver d'énergie à bord.

Faible poids et faible encombrement, montage sur mât, traitement anticorrosion, puissance dégagée de 25 watts à 19 nœuds.

Cette éolienne peut produire jusqu'à 90 W, à 25 nœuds.

Fiche technique

Tableau II.2: Les caractéristiques des éoliennes marine 504 12v.

Puissance du produit	90 W
Tension	12 V
Puissance	80 - 100 W



Figure II.1: EOLIENNE MARINE 504 12V.[28]

II.2. Variation de la production d'énergie par rapport à la vitesse du vent

Les conditions de fonctionnement :

La production d'énergie d'une turbine éolienne dépend essentiellement des conditions de vent. Puisque la puissance est fonction de la vitesse du vent varie presque avec le cube de la vitesse du vent.

L'efficacité d'une éolienne dépend donc de son emplacement.

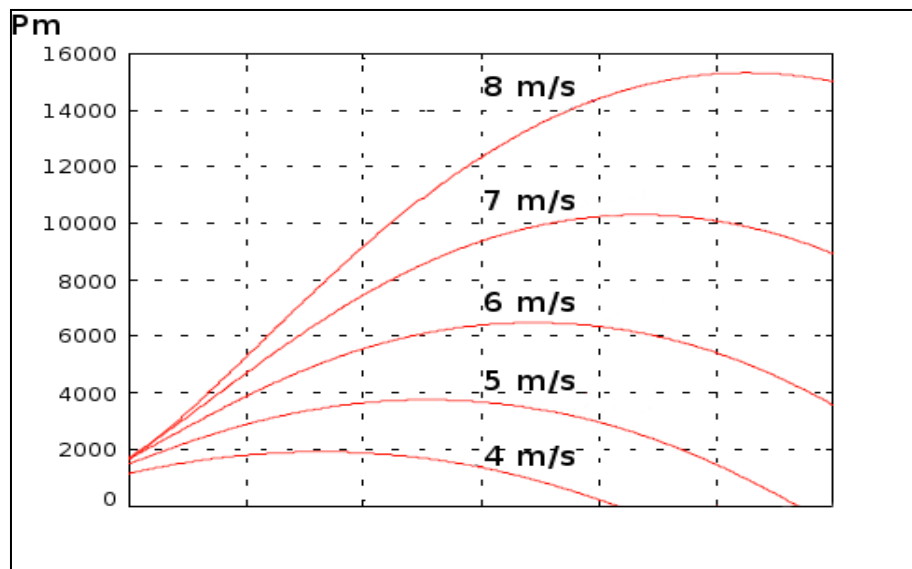


Figure II.2: Variation de la puissance en fonction de la vitesse du vent. [22]

II.3. Notions théoriques sur l'aérogénérateur

II.3.1. La puissance d'une éolienne

La puissance cinétique du vent à travers un disque éolien de rayon R , est donnée par la relation suivante: [21]

$$P_{vent} = \frac{1}{2} \rho S V_{vent}^3 = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_{vent}^3$$

- ❖ ρ : masse volumique de l'air ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ en atmosphère normale) .
- ❖ S : c'est la surface circulaire balayée par la turbine, le rayon du cercle est déterminé par la longueur de la pale.
- ❖ R : correspond pratiquement à la longueur de la pale.
- ❖ V : la vitesse du vent (en m/s).

II.3.2. Energies et puissance du vent

1- Énergie cinétique:

le vent fournit une énergie cinétique puisqu'il s'agit d'une masse d'air qui se déplace. Cette énergie cinétique est donnée par l'équation suivante:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

2- La masse de l'air:

le vent qui traverse une conduite de section S à vitesse V , l'énergie récupérable à chaque seconde; donc la puissance peut s'écrire à l'aide de l'équation de l'énergie cinétique. La masse m est alors remplacée par le débit massique Q_m (kg/s) qui permette passage de l'énergie à la puissance. [22]

$$Q_m = \frac{m}{t} \text{ (kg/s)}$$

Par ailleurs, le débit massique est donné par:

$$m = \rho \cdot S \cdot V$$

3- Puissance récupérable:

La puissance P est donc:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot V^2$$

Donc:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3$$

II.3.3. Limite de Betz

La limite de Betz est une loi physique qui indique que la puissance théorique maximale développée par un capteur éolien est égale à 16/27 de la puissance incidente du vent qui traverse l'éolienne.

La totalité de l'énergie ne peut pas être captée par l'éolienne car la vitesse en aval du rotor n'étant jamais nulle. Donc une partie de la puissance éolienne disponible n'est pas entièrement récupérée au niveau de l'hélice. Le théorème du physicien allemand Albert Betz

(années 1920) montre que le maximum d'énergie récupérable dans le vent par le rotor est égal à $16 / 27$, soit environ **59 %** de l'énergie totale du vent

Cette théorie de Betz s'applique principalement aux éoliennes à axe horizontal. [9]

La **figure II.3** suivant représente le système éolien à axe horizontal avec une masse d'air traversant le disque de surface S à une vitesse V .

On a représenté la vitesse du vent V_1 en amont de l'aérogénérateur et la vitesse V_2 en aval

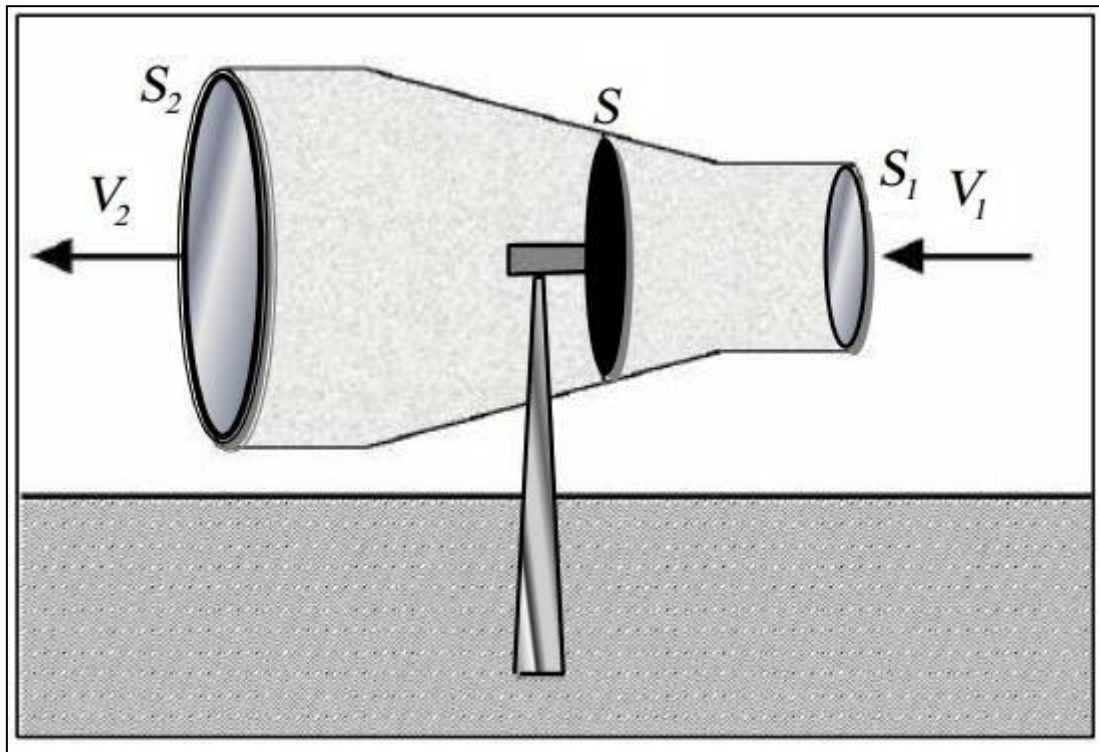


Figure II.3: Tube de courant d'air autour d'une éolienne. [27]

- En supposant que la vitesse du vent traversant le rotor est égale:

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

- ❖ V : la vitesse du vent au niveau des pales de l'éolienne m/s.

La puissance récupérable du vent s'exprime par:

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (1)$$

On peut retrouver le (C_p) max en faisant une étude des puissances, sachant que : la puissance récupérable sur l'éolienne est due à la variation d'énergie cinétique du vent :

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot (V_2^2 - V_1^2) \quad (2)$$

Le théorème de la quantité de mouvement donne :

$$F = \rho \cdot S \cdot V \cdot (V_1 - V_2) \quad (3)$$

D'autre part, l'effort qui s'exerce sur l'éolienne crée une puissance **Pm**

En appliquant l'équation qui définit l'énergie, comme le produit d'une force par la vitesse, il vient:

$$P_m = F \cdot V$$

$$\rightarrow P_m = \rho \cdot S \cdot V^2 (V_1 - V_2) \quad (4)$$

❖ **Pm**: correspond à la puissance absorbée par le rotor, soit la puissance mécanique fournie à l'aéromoteur.

On peut déterminer la vitesse V_2 pour laquelle la puissance est maximale :

$$\Delta E_c = P_m \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot (V_2^2 - V_1^2) = \rho \cdot S \cdot V^2 (V_1 - V_2) \quad (5)$$

Simplification:

$$\frac{1}{2} \cdot (V_2 + V_1)(V_2 - V_1) = V(V_1 - V_2)$$

$$\text{Alors:} \quad V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (6)$$

En remplace l'expression (6) dans (4), on trouve:

$$P_m = \rho \cdot S \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)^2 (V_1 - V_2)$$

$$\Rightarrow P_m = \rho \cdot S \cdot \frac{(V_1 + V_2)}{4} \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (7)$$

♦ **La puissance maximale récupérable:**

Le maximum de puissance récupéré par la turbine est obtenu pour une vitesse v_2 telle que:

$$\frac{dP}{dv_2} = 0$$

Ce qui donne:

$$-3 \cdot V_2^2 - 2V_2 \cdot V_1 + V_1^2 = 0 \quad (8)$$

La résolution de l'équation différentielle du deuxième ordre avec V_2 est inconnue

On trouve:

$$V_2 = \frac{V_1}{3} \quad (9)$$

La puissance est maximale pour : $V_2 = \frac{V_1}{3}$

Calcul de P_{max} & Cp_{max} :

En remplaçant l'équation (9) dans (7) la puissance maximal P_{max} devient:

$$P_{max} = \rho \cdot S \cdot V_1^3 \cdot \left(\frac{8}{27}\right) \quad (10)$$

Donc:

Le Coefficient de puissance maximal Cp_{max} pour une éolienne:

$$P_{max} = \rho \cdot S \cdot V_1^3 \cdot \left(\frac{8}{27}\right) = \frac{1}{2} \cdot Cp_{max} \cdot \rho \cdot S \cdot V_1^3$$

$$\Rightarrow Cp_{max} = \frac{16}{27} \approx 0.59$$

- Le coefficient de puissance représente le ratio entre la puissance du rotor et la puissance disponible dans le vent :

$$Cp = \frac{P_{rotor}}{P_{vent}}$$

$$Cp_{max} = \frac{16}{27} = \frac{P_{rotor}}{P_{vent}} = \frac{P_{rotor}}{(1/2)\rho \cdot S \cdot V^3}$$

- ♦ La puissance maximale du rotor sera égale :

$$P_{maxrotor} = \left(\frac{16}{27}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (11)$$

❖ En tenant compte de tous les autres rendements d'une éolienne comme celui de la génératrice ou du réducteur, le rendement global d'une machine se situe autour de **50 %** de la limite de Betz.

$$P_{rotor} = \frac{1}{2} \cdot Cp \cdot P_{vent}$$

Enfin, dans bien des cas :

$$P_{réelle rotor} = 0.3 \cdot P_{vent} \quad (12)$$

II.3.4. Le Coefficient de puissance C_p

L'énergie du vent est l'énergie cinétique de l'air récupérable qui traverse une certaine surface ($S = \pi \cdot R^2$ où R = rayon de pale); la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse V (m/s):

$$P_{vent} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3$$

Cette énergie ne peut pas être entièrement récupérée

On introduit alors le coefficient de puissance C_p dans le calcul de la puissance aérodynamique:

$$P_{turbin} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3 \quad \Leftrightarrow \quad P_{aéro} = C_p \cdot P_V$$

Ou:

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

Le coefficient de puissance C_p représente le rendement aérodynamique de la turbine éolienne et il dépend de la caractéristique de la turbine. [23]

C'est cette limite qui fixe la puissance maximale extractible pour une vitesse de vent donnée (Cette limite n'est en réalité jamais atteinte).

Ce coefficient de puissance permet de classer les différents types d'éoliennes exprimé en fonction de la vitesse relative λ représentant le rapport entre la vitesse de l'extrémité des pales de l'éolienne et la vitesse du vent.

$$\lambda = \frac{R \cdot \Omega_{turbin}}{V_1}$$

- ❖ λ : Rapport de vitesse (vitesse de l'extrémité des pales sur la vitesse du vent).
- ❖ Ω_{turbin} : vitesse de rotation avant le multiplicateur.
- ❖ R : rayon des pales de l'aérogénérateur.

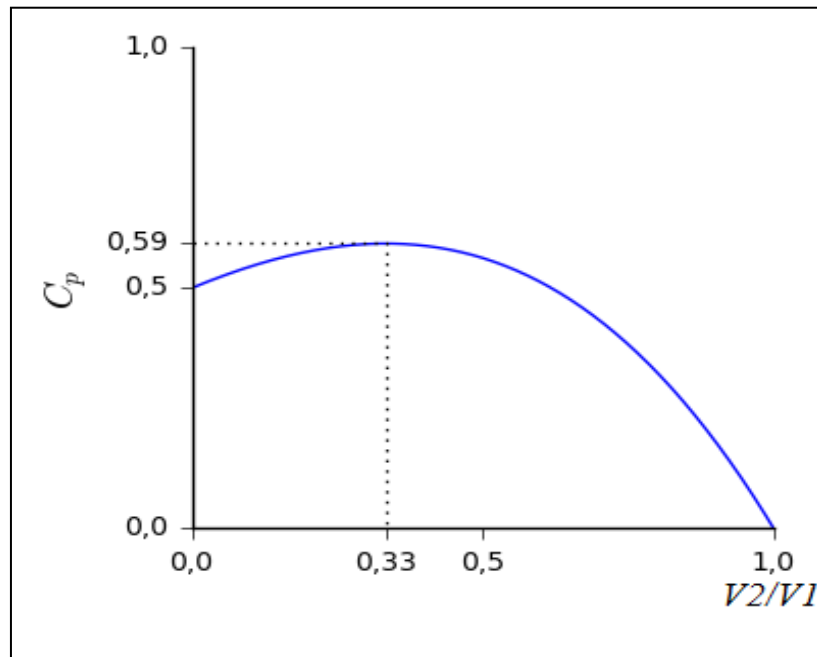


Figure II.4: Coefficient de puissance.

- ❖ La puissance fournie par un aérogénérateur est proportionnelle :
 - au carré des dimensions du rotor.
 - au cube de la vitesse du vent.

II.4. Différentes zones de fonctionnement d'éolienne

La **figure II.5** représente La caractéristique de puissance d'une éolienne en fonction de la vitesse du vent, on peut se décomposer en quatre zones: [22]

La zone I: de 0 à la vitesse de démarrage ($p=0$), le vent n'est pas suffisant pour faire fonctionner la turbine.

La zone II: de la vitesse de démarrage à la vitesse nominale, la puissance fournie par l'arbre va dépendre de la vitesse du vent.

La zone III: de la vitesse nominale à la vitesse maximale (de coupure), la vitesse de rotation est maintenue constante par régulation de la vitesse et la puissance P fournie reste égale à P_n (fonctionnement à pleine charge).

La zone IV: après la vitesse de coupure, la vitesse du vent est trop importante, pour ne pas détériorer le générateur éolien, les pales de la turbine sont mises en ($\beta = 90^\circ$) et la puissance extraite est nulle.

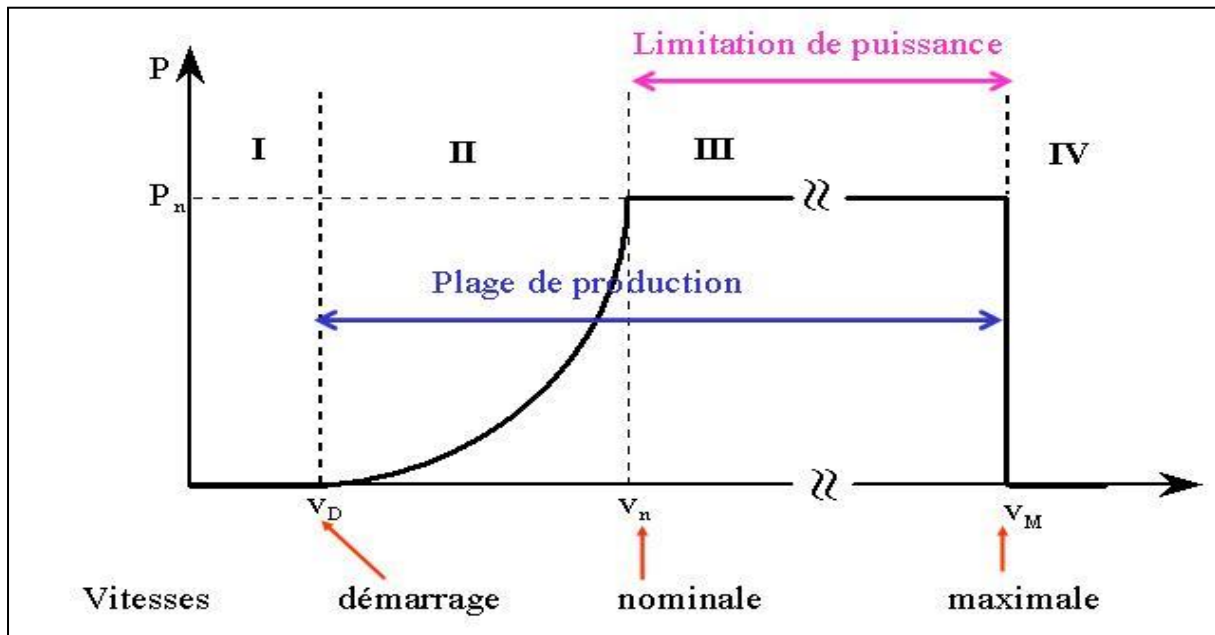


Figure II.5: Caractéristique puissance-vitesse du vent d'une éolienne.

II.5. Les pales

II.5.1. Description d'une pale d'éolienne

Plusieurs paramètres caractérisent les pales: longueur, largeur, profil et nombre. Parmi ces éléments, certains sont déterminés par des calculs. D'autres sont choisis en fonction de critères tels que le coût, la résistance aux intempéries, etc. [8]

1- La longueur :

Le diamètre de l'hélice est déterminé en fonction de la puissance requise, Réglez la fréquence de rotation maximale que l'hélice ne doit pas dépasser afin de réduire la pression sur les pales due à la force centrifuge et également prendre en compte le risque de vibration.

2- La largeur :

La largeur des pales interfère avec le couple qui sera meilleur plus la lame sera large. Cependant, pour des vitesses de rotation élevées, des lames minces et légères sont souhaitables.

3- Le profil :

Il est choisi en fonction du couple requis.

Pour les éoliennes de moyenne et faible puissance, les pales ne sont pas vrillées, et pour les appareils de grande puissance (≥ 100 kW), elles prennent la forme d'un ventilateur.

4- Le nombre :

Nous choisissons le nombre de pales en fonction de l'efficacité aérodynamique et un bon d'équilibre corporel et d'autre part le coût.

II.5.2. Vitesse relative

➤ Vitesse tangentielle:

- ✓ Vitesse du vent créé par le déplacement de la pale:

$$U = \Omega \cdot r$$

- ❖ U : vitesse du vent dû au déplacement de la pale ou vitesse tangentielle (en m/s).
- ❖ Ω : vitesse angulaire du rotor (en rad/s).
- ❖ r : distance du point considéré à l'axe de rotation (en m).

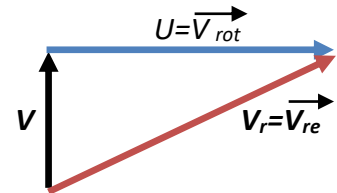
Vitesse relative:

Vent apparent ou vent relatif, c'est une composition du vent réel et du vent créé par le déplacement de la pale (qui varie sur toute la longueur de la pale proportionnellement au rayon). [22]

- ✓ Vitesse relative de la pale:

$$V_r = \sqrt{U^2 + V^2}$$

- ❖ V_r : vitesse relative de la pale (en m/s).
- ❖ U : vitesse tangentielle du point considéré (en m/s).
- ❖ V : vitesse du vent (en m/s).



II.5.3. Corde

Les profils d'ailes ont généralement un bord d'attaque arrondi en avant et un bord de fuite fin sur l'arrière. La distance du bord d'attaque au bord de fuite s'appelle la corde. [23]

II.5.4. Angle d'attaque et de calage

L'angle d'attaque α est composé de la somme de l'angle d'incidence i et de l'angle de calage β des pales. [23]

L'angle qui existe entre la pale et le plan de rotation de la pale s'appelle angle de calage.

L'angle d'incidence est l'angle formé par la pale et la direction apparente du vent.

$$\alpha = \beta + i = \arctan\left(\frac{V}{U}\right)$$

- ❖ α : angle d'attaque (en degrés).
- ❖ i : angle d'incidence (en degrés).
- ❖ β : angle de calage (en degrés).

La **figure II.6** présente les différents Actions sur les pales (vitesse, angle d'incidence i et de calage β)

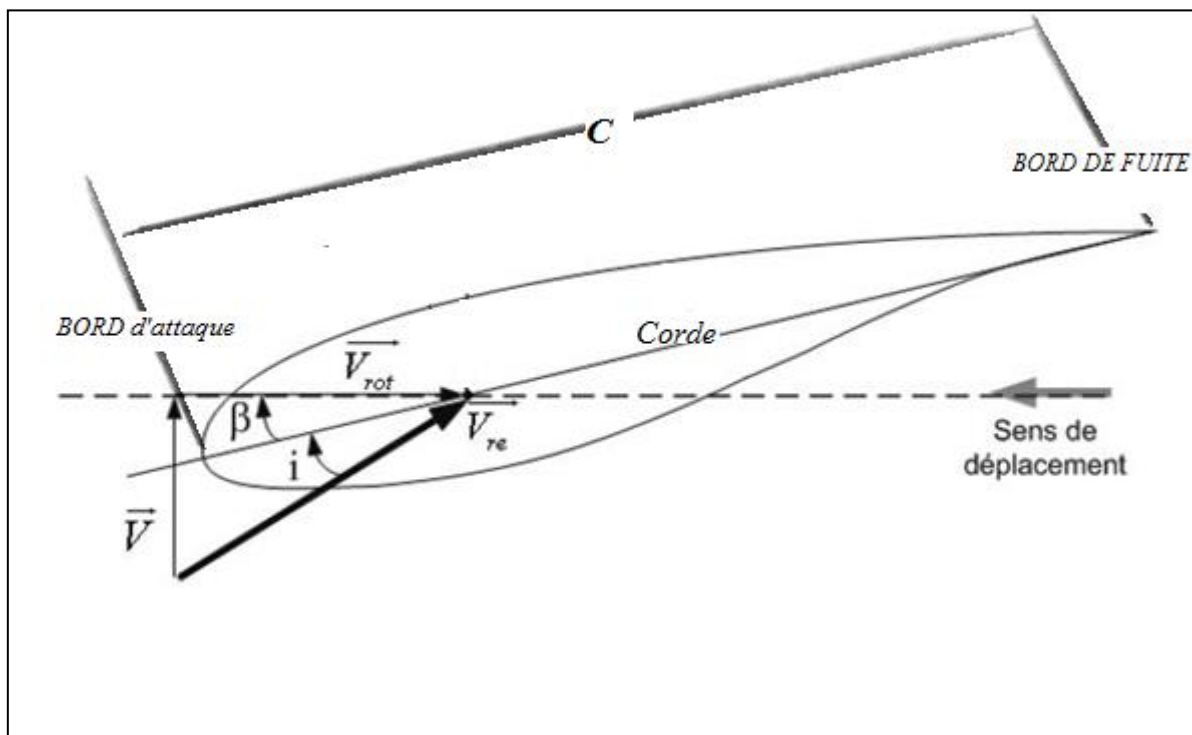


Figure II.6: l'angle d'incidence i et de calage β et la vitesse relative sur la pale.

II.5.5. Bilan des forces sur une pale

La vitesse relative \mathbf{Vr} est la vitesse du vent incident sur l'élément de pale, cette vitesse produit deux vecteurs forces, la force de portance L perpendiculaire à la direction de \mathbf{Vr} et celle de traînée D parallèle à la direction de \mathbf{Vr} . [24]

L'action du vent sur la pale produit une force \mathbf{F} qui se décompose en une poussée axiale \mathbf{Fa} et tangentielle \mathbf{Ft} qui produit effectivement le déplacement.

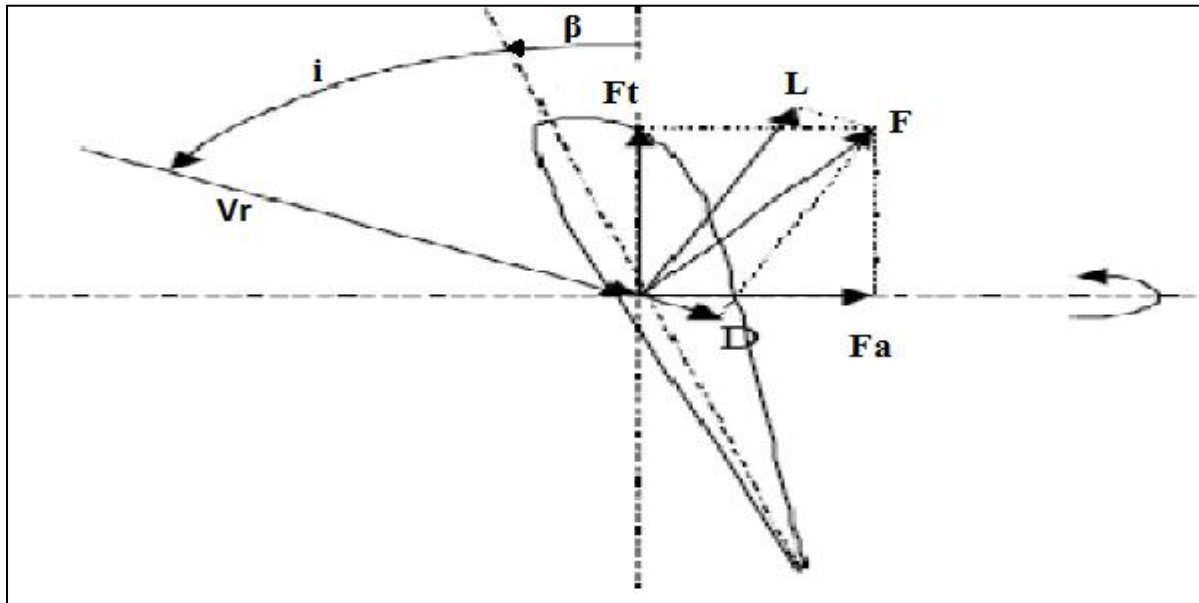


Figure II.7: Bilan des forces sur une pale. [24]

β et i Sont respectivement l'angle de calage et l'angle d'incidence.

II.5.6. Coefficients de portance et de traînée et l'action aérodynamique

II.5.6.1. La portance:

La portance est la force de poussée qui agit perpendiculairement à la direction du vent, c'est grâce à elle que les pales tournent.

Cet effet est dû à l'écoulement de l'air autour du profil est plus rapide sur l'extrados (le dessus) que sur l'intrados (le dessous) de l'aile, ce qui entraîne une dépression sur l'extrados.

Cette dépression crée une force qui aspire la pale vers le haut (l'avant). Cette force s'appelle la portance L pour «Lift» [23]

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_r^2 \cdot C_z$$

- ❖ C_z : représente le coefficient de portance.
- ❖ V_r : vitesse de déplacement : vitesse relative du vent par rapport à la pale (en m/s).
- ❖ S : surface de la pale (m^2).

$$S = l \cdot C$$

l : longueur de la pale (m).

C : corde de la pale (m).

II.5.6.2. La traînée:

La traînée est la force qui agit dans la même direction que le vent,

En aérodynamique la traînée correspond à la résistance d'air, celle-ci augmente avec la surface exposée à la direction de l'écoulement de l'air. [22]

Cette force de résistance appelée traînée et notée D pour «Drag»

La traînée est calculée de la façon suivante:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_r^2 \cdot C_X$$

❖ C_X : représente le coefficient de traînée.

La traînée est une force qui agit sur la pale dans la même direction que le vent.

✚ La portance et la traînée s'appliquent au centre aérodynamique du profil. Les coefficients de portance C_Z et de traînée C_X dépendent fortement de l'angle d'attaque α et du profil de la pale.

II.5.6.3. Action aérodynamique:

L'action aérodynamique totale ou résistance de l'air est la résultante de ces deux forces de traînée et de portance

✓ Action aérodynamique totale: $F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_r^2 \cdot C_r$

❖ F : force totale (en N)

❖ C_r : coefficient aérodynamique total

▣ Parmi les paramètres utilisés pour choisir les profils des pales:

La finesse: ou le rapport du coefficient de portance sur celui de la traînée

$$fi = \frac{C_Z}{C_X}$$

La finesse du profil joue un rôle important. Elle doit être assez grande pour que la traînée n'absorbe pas une partie trop élevée du couple moteur.

Elle dépend de plusieurs paramètres :

- ✓ l'angle d'attaque de la pale (c'est à dire l'angle de la pale par rapport au vent apparent)
- ✓ la forme de la pale et son facteur de forme

II.6. Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne

Pour contrôler la puissance aérodynamique extraite par la turbine, La plupart des grandes turbines éoliennes utilisent deux principes:

- le pitch control.
- le stall control.

II.6.1. Le Pitch Control

« Variation d'angle de calage », aussi appelé pitch control, est un système de régulation aérodynamique actif. en modifiant l'angle de calage des pales sur le moyeu à l'aide de vérins hydrauliques autour d'un axe longitudinal se qui permet d'ajuster (diminution ou une augmentation) la portance des pales à la vitesse du vent. [21]

Ce système de contrôle permet de déterminer la meilleure position des pales en fonction de la vitesse du vent ce qui va permettre de maintenir la puissance constante dans la **zone III** à sa valeur maximale.

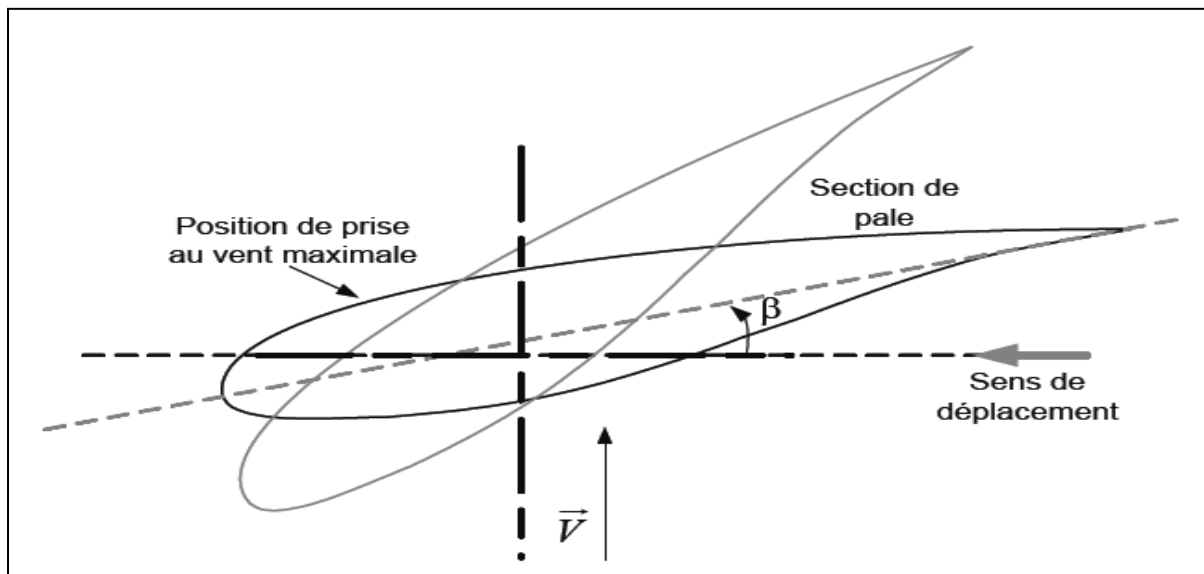


Figure II.8: Variation de l'angle de calage d'une pale. [25]

Avantage:

- ✓ profiter au maximum du vent.
- ✓ démarrage rapide par changement de l'angle de calage.
- ✓ limiter la puissance pour des vitesses de vent supérieures à la vitesse nominale.
- ✓ ce système permet également de freiner la turbine si nécessaire par la mise en drapeau des pales ($\beta = 90^\circ$).

Régulation mécanique de la vitesse de rotation d'une éolienne :

Si le vent est trop faible, la turbine n'est pas entraînée (Les pales sont immobiles).

Un anémomètre mesure la vitesse du vent, l'angle des pales va se fixer sur une valeur pour laquelle la puissance extraite est maximale. Puis, si le vent est trop élevé, on fait varier l'angle des pales pour ralentir la machine. [25]

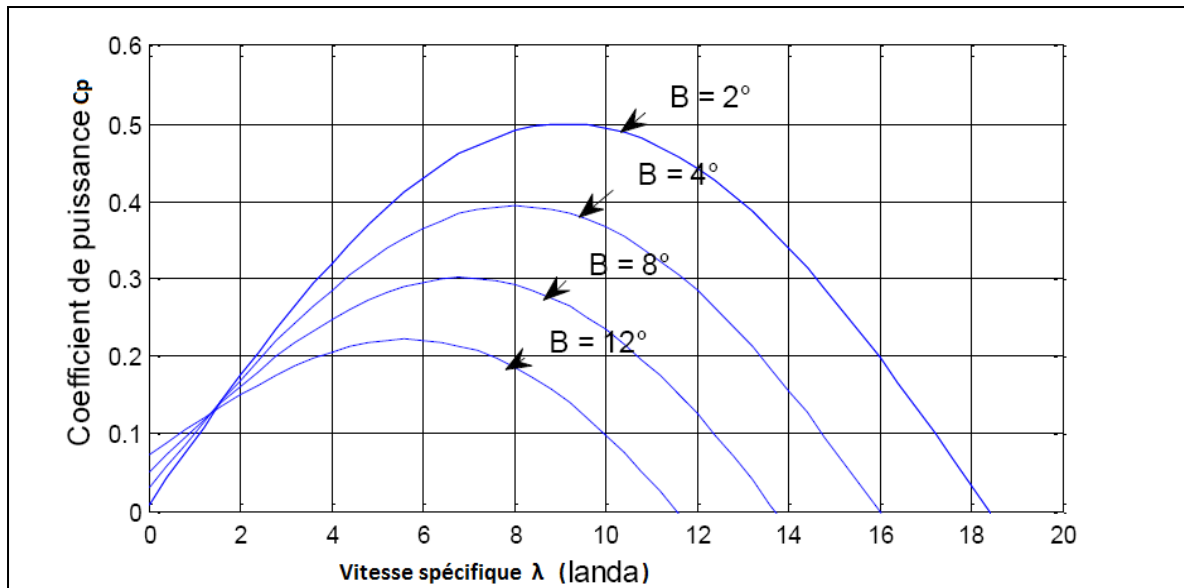


Figure II.9: Variation de coefficient de puissance C_p en fonction du ratio λ de vitesse et l'angle de l'orientation de la pale β . [25]

La **figure II.9** montre l'effet de l'angle de calage sur le coefficient aérodynamique de puissance C_p .

On voit bien que la variation de la position angulaire des pales sur leur axe résulte un décalage dynamique de la courbe du coefficient de puissance de l'aile, sachant qu'une valeur négative de ce dernier ($\beta = 90^\circ$) correspond au fonctionnement des freins et l'angle de calage nul correspond à une pale face au vent. [24]

II.6.2. Système à décrochage aérodynamique "stall Control"

Système de limitation de vitesse simple et moins coûteux dit "stall".

C'est un régulateur par décrochage aérodynamique (système de contrôle passif), qui réagit au-delà d'une certaine vitesse du vent, c'est à dire lorsque la vitesse du vent dépasse sa valeur nominale.

Il utilise le phénomène de décrochage aérodynamique; Lorsque l'angle d'incidence i devient trop important il se produit un décrochage aérodynamique.

Cela signifie que l'écoulement de l'air sur l'extrados ne se fait plus de façon régulière, et l'air commence à tournoyer dans un tourbillon irrégulier en formant une turbulence. La portance résultant de la dépression au niveau de l'extrados de l'aile disparaît.

Ceci empêche alors une augmentation de la vitesse de rotation

❖ On peut améliorer en autorisant une légère rotation de la pale sur elle-même (système "stall actif") permettant ainsi de maximiser l'énergie captée pour les faibles vitesses de vent. [23]

Avantage:

- ✓ système de régulation et de protection pour ($v > v_n$).
- ✓ pas de système de contrôle d'angle de calage.
- ✓ Il y a possibilité d'adaptation de la turbine aux conditions d'exploitation.
- ✓ construction plus simple et moins coûteuse du rotor.
- ✓ maintenance plus aisée ou meilleure fiabilité (nombre plus réduit de pièces mécaniques en mouvement).

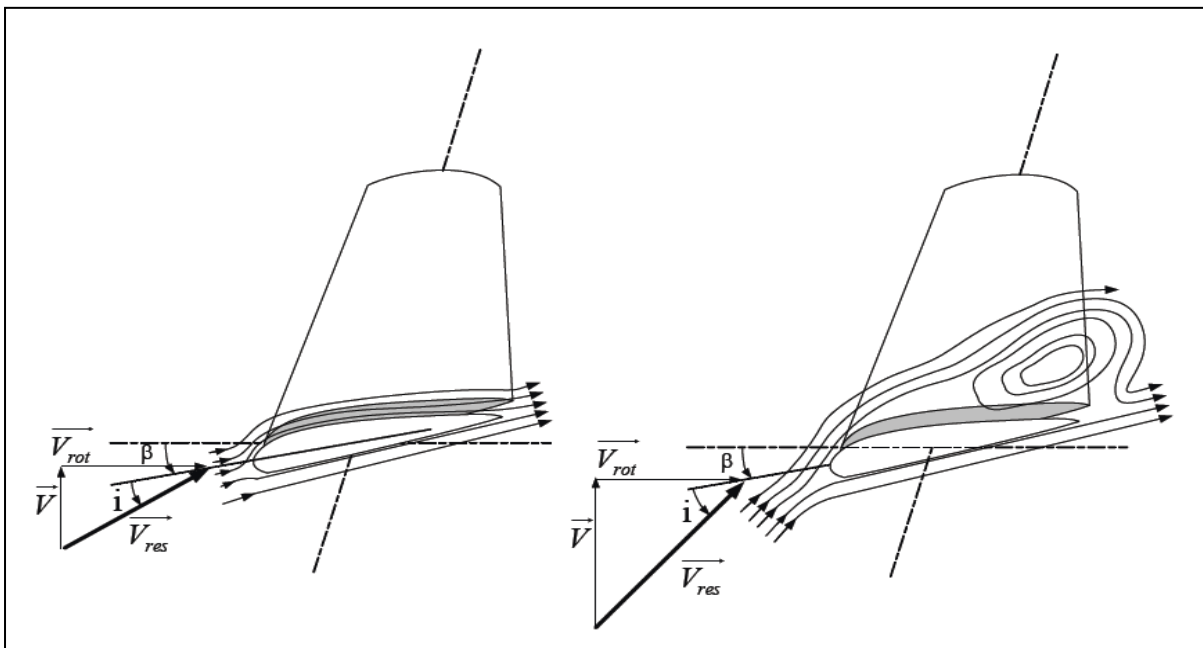


Figure II.10: Flux d'air sur un profil de pale "stall".[25]

❖ Certains aérogénérateurs utilisent un système hybride nommé le Stall Actif qui combine les avantages des deux systèmes où le décrochage aérodynamique est obtenu progressivement grâce à une orientation minimale des pales nécessitant des moyens de réglage plus économiques et plus robustes que dans le cas du système de Pitch Control. [25]

II.7. Types de machines électriques utilisées dans les systèmes éoliens

Différents types de machines électriques peuvent être utilisés pour générer la puissance éolienne, et le type d'appareil est déterminé pour chaque application par des facteurs techniques et économiques.

Pour les petites puissances (< 20 kW), la simplicité et le coût réduit des générateurs synchrones à aimants permanents (GSAP) expliquent leur prédominance. Dans les applications de plus forte puissance (jusqu'à 2 MW) le générateur asynchrone est plus courant et économique.

le générateur peut être une machine synchrone ou asynchrone, utilisée à vitesse fixe ou à vitesse variable. [20]

II.7.1. Le générateur asynchrone

Le générateur asynchrone, également appelé Machine Asynchrone (MAS) est utilisé dans la plupart des cas car il nécessite moins de moyens de transformation du courant produit et peut supporter de légères variations de vitesse ce qui est un atout pour les éoliennes où la vitesse du vent peut évoluer rapidement.

Cependant, ce type de générateur nécessite d'être entraîné à plus grande vitesse (plusieurs centaines de tours par minute) d'où l'utilisation d'un multiplicateur entre le rotor (arbre lent) et la génératrice (arbre rapide).

La génératrice asynchrone produit du courant grâce à un champ magnétique qui peut être créé de deux manières différentes. [20]

La génératrice est alors:

A rotor bobiné ou à bagues :

Les enroulements du rotor couplés en étoile sont reliés à un système de bagues/balais permettant ainsi l'accès à leurs bornes pour la connexion d'un convertisseur statique dans le cas d'un pilotage de la machine par le rotor.

A cage d'écureuil :

Le rotor est constitué de barres court-circuitées par des anneaux aux deux extrémités de l'armature. Les enroulements rotoriques ne sont alors pas accessibles.

II.7.1.1. Les avantages et les inconvénients

✚ Les avantages et les inconvénients des machines asynchrones.

<p>avantage:</p> <ul style="list-style-type: none"> • système simple. • utilisé depuis longtemps. • économiquement plus intéressant. 	<p>inconvénients:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ce système nécessite plus de pièces en rotation par rapport à une génératrice synchrone. • pertes d'énergie dues au multiplicateur. • vibrations et bruit plus importantes. • maintenance plus importante. • fuite d'huile (lubrifiante de préférence) du multiplicateur.
--	--

Tableau II.3: Les avantages et les inconvénients des machines asynchrones. [20]

II.7.1.2. machine asynchrone à double alimentation

La MADA est un générateur à induction à rotor bobiné. Les enroulements du stator sont connectés directement au réseau triphasé de distribution alors que les enroulements du rotor sont reliés à des convertisseurs de puissance bidirectionnels en courant : la puissance traversant ces convertisseurs peut alors être absorbée ou produite par la machine, selon le mode de fonctionnement. Le condensateur C1 entre les deux convertisseurs représente le bus continu. Le transformateur élévateur de tension permet le raccordement au réseau de distribution.

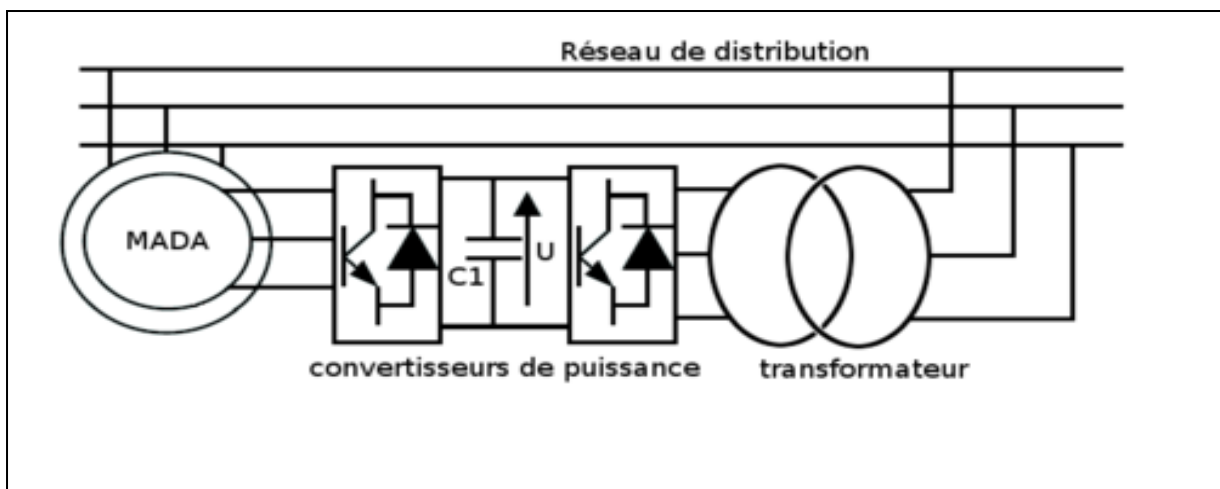


Figure II.11: Schéma d'une machine asynchrone à double alimentation. [20]

II.7.2. génératrice synchrone

Ou Machine Synchrone (MS) Cette génératrice tourne a une vitesse variable en fonction de la vitesse du vent et on peut être utilisé pour les applications d'entraînement direct (sans utiliser de multiplicateur). [9]

- ✓ On obtient un « mauvais » courant alternatif car il est irrégulier.
- ✓ redressé en courant continu.
- ✓ transformé en courant alternatif de voltage et de fréquence constant par un onduleur.

Le générateur produit alors du courant électrique alternatif mais qui est de fréquence variable, donc il doit être transformé en courant continu, puis en courant alternatif de fréquence identique à celle du réseau public (génératrice soit raccordée au réseau par l'intermédiaire de convertisseurs de fréquence).

- ❖ Cette technologie est privilégiée dans le cas des éoliennes offshore car la maintenance est réduite par rapport à une technologie utilisant une boîte de vitesse.

Ce type de générateur possède de nombreux avantages :

- Gain important en poids (pas de multiplicateur).
- Réduction du nombre de pièces en rotation.
- moins de bruit.
- réduction de la charge.
- augmentation de la durée de vie de la machine.
- diminution de la maintenance.

Cependant il y a un inconvénient :

- il est nécessaire de convertir l'électricité afin de garder une fréquence constante.
(Courant alternatif → Courant continu → Courant alternatif).

II.7.2.1. Génératrice à aimants permanents

Générateur à aimants permanents ou MSAP produisent un courant et une tension de fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation donc à la vitesse du vent. Lorsque ce type de machine est directement connecté au réseau, sa vitesse de rotation reste fixe et proportionnelle à la fréquence du réseau.

Le rotor est constitué d'aimants, les aimants en tournant créent une variation de champs dans la bobine (stator) ce qui induit un courant récupérable à la sortie de la bobine.

Les fabricants d'éoliennes ont tendance à utiliser ce type de machines de plus en plus car elle peut fonctionner en mode autonome

Ce type de génératrice est très souvent utilisé dans le petit éolien (le générateur à aimant permanent est plus simple et moins cher).

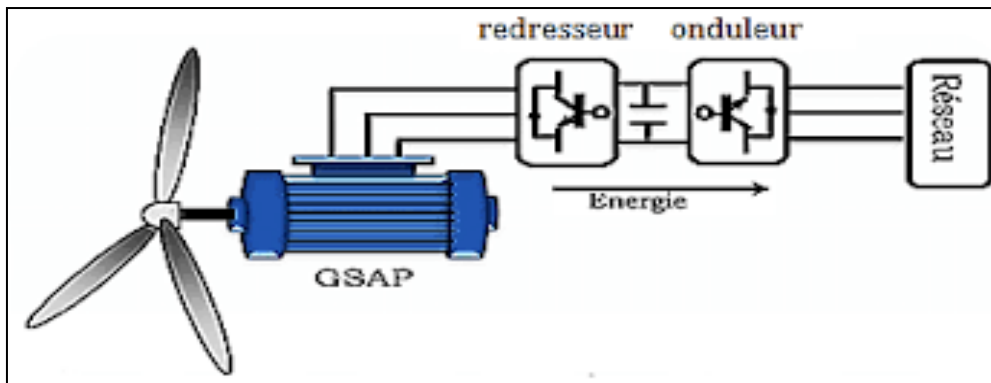


Figure II.12: Système éolien basé sur une GSAP. [9]

II.7.2.1.1. Les avantages et les inconvénients

✚ Les avantages et les défauts des MSAP.

Avantage	Défauts
<ul style="list-style-type: none"> • sont beaucoup plus légères que les autres types de générateurs. • moins cher. • Réduction du nombre de pièces en rotation. • moins de bruit et d'entretien. • Puissance extraite optimisée pour les vents faibles. • augmentation de la durée de vie de la machine. • Les coûts de maintenance sont relativement faibles. • bon rendement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une conversion électrique afin de garder une fréquence constante (Courant alternatif → Courant continu → Courant alternatif).

Tableau II.4: Les avantages et les inconvénients de génératrice à aimant permanent. [20]

II.8. modélisation de la chaîne de conversion éolienne

II.8.1. Chaîne de conversion de l'énergie éolienne :

Dans ce parti nous allons étudier une chaîne de conversion basée sur une Génératrice Synchrones à Aimant Permanent (GSAP) Pour cela, nous proposons un schéma de commande du moteur comportant un premier dispositif alternatif/continu puis un convertisseur continu/continu suivi d'un second dispositif régulateur Et puis l'unité de stockage d'électricité pour une utilisation ultérieure.

Puis nous allons modéliser les éléments qui composent cette chaîne.

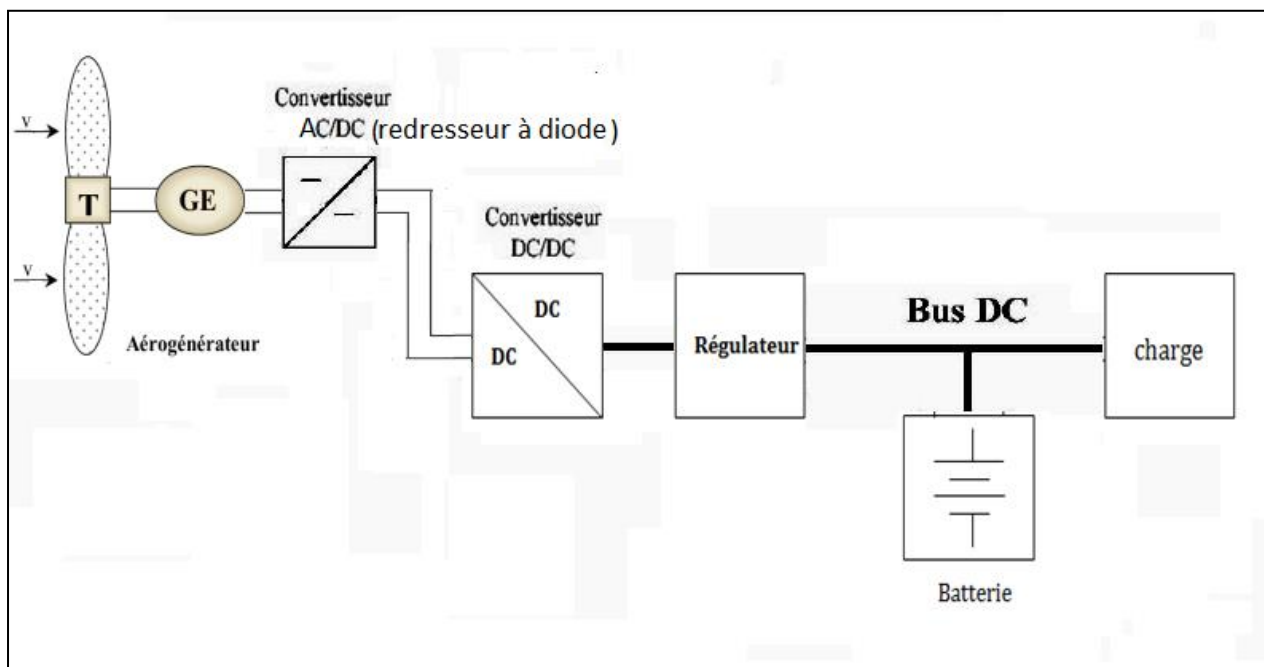


Figure II.13: Structure de conversion de l'énergie éolienne.

II.8.2. Modélisation du moteur synchrone à aimants permanents

La modélisation GSAP est la construction d'un modèle mathématique d'une machine, en traduisant les phénomènes électromagnétiques et mécaniques qui régissent son fonctionnement. Cela permet d'étudier commodément le comportement de différentes variables en mode dynamique et statique et d'utiliser ce modèle dans des simulations. [26]

Les modèles de machines électriques les plus largement utilisés sont basés sur la théorie unifiée des machines électriques. Cette théorie est basée sur la transformation de Park.

Mise en équation de la MSAP :

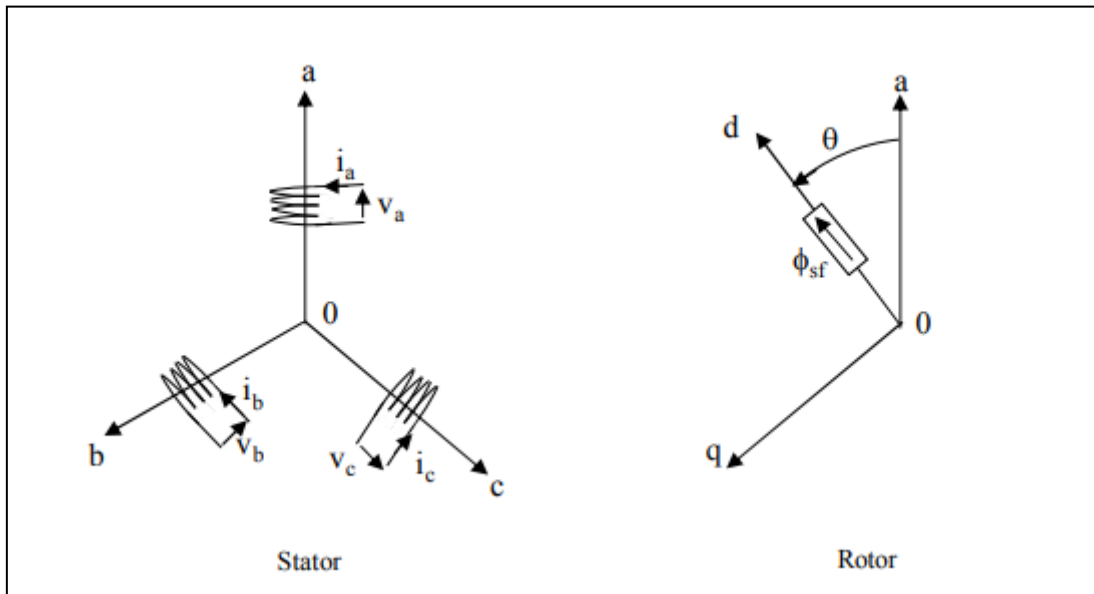


Figure II.14: Représentation d’une machine synchrone à aimants permanents. [41]

Équations de tensions et flux

A partir de la figure, nous écrivons les équations de la machine synchrone dans le repère fixe au stator, en notation matricielle :

Expression de la tension statorique :

Le système d’équations des trois phases de la machine s’écrit sous la forme matricielle suivante :

$$[V_S] = [R_S] \cdot [I_S] + \frac{d}{dt} [\varphi_S] \quad \textcircled{1}$$

Avec :

$$[V_S] = [V_a \ V_b \ V_c]^T \quad \text{: Vecteur tensions statoriques.}$$

$$[I_S] = [I_a \ I_b \ I_c]^T \quad \text{: Vecteur courants statoriques.}$$

$$[\varphi_S] = [\varphi_a \ \varphi_b \ \varphi_c]^T \quad \text{: Vecteur flux statoriques.}$$

$$[R_S] = \begin{bmatrix} R_S & 0 & 0 \\ 0 & R_S & 0 \\ 0 & 0 & R_S \end{bmatrix} \quad \text{: Matrice de résistance du stator.}$$

Expression des flux statoriques : (équation magnétique)

$$[\varphi_S] = [L_{S_S}] \cdot [I_S] + [\varphi_{Sf}] \quad (2)$$

Où:

$[\varphi_{Sf}] = [\varphi_{af} \ \varphi_{bf} \ \varphi_{cf}]^T$: Vecteur flux créé par l'aimant à travers l'enroulement statorique.

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

En introduisant (2) dans (1) on aura :

$$[V_S] = [R_S] \cdot [I_S] + \frac{d}{dt} ([L_{S_S}] \cdot [I_S] + [\varphi_{Sf}]) \quad (3)$$

On remarque que l'équation (3) est non linéaire.

II.8.2.1. Transformation de Park

La transformation de Park est souvent appelée transformation à deux axes. [42]

Afin de simplifier le modèle dynamique de la machine, on applique un changement de repère. Cette transformation mathématique, A l'aide de la transformation de Park, on passe des grandeurs statoriques réelles (tension, flux courant) à leurs composantes fictives appelées les composantes d-q.

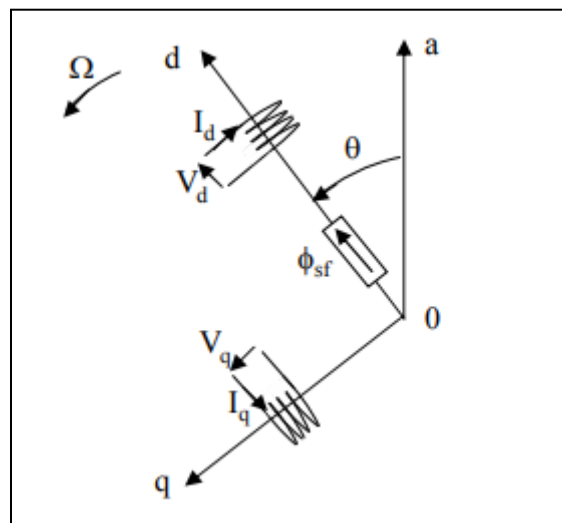


Figure II.15: Schéma équivalent de la MSAP dans le repère (d, q). [41]

La transformation qui traduit ce passage du système triphasé (a, b, c) au système biphasé (d,q) est donnée par :

$$\rho(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

$\rho(\theta)$: est la matrice de Park normalisée.

$\rho(\theta)^{-1}$: Définie le passage du repère d, q, vers a, b, c

Les équations électriques dans le repère de Park :

$$\begin{cases} V_d = R_S \cdot I_d + \frac{d}{dt} \varphi_d - \omega \cdot \varphi_q \\ V_q = R_S \cdot I_q + \frac{d}{dt} \varphi_q + \omega \cdot \varphi_d \end{cases} \quad (4)$$

Expressions des flux (Equations magnétique):

$$\begin{cases} \varphi_d = L_d \cdot I_d + \varphi_{Sf} \\ \varphi_q = L_q \cdot I_q \end{cases} \quad (5)$$

En introduisant (5) dans (4) on aura Le modèle électrique du MSAP sous la forme suivante :

$$\begin{cases} V_d = R_S \cdot I_d + L_d \cdot \frac{d}{dt} I_d - \omega \cdot L_q \cdot I_q \\ V_q = R_S \cdot I_q + L_q \cdot \frac{d}{dt} I_q + \omega \cdot L_d \cdot I_d + \omega \cdot \varphi_{Sf} \end{cases} \quad (6)$$

II.8.2.2. Expression de la puissance et du couple électromagnétique

Selon Park, L'expression de la puissance transmise est donnée par :

$$P(t) = \frac{3}{2} \cdot (V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q) \quad (7)$$

En remplaçant V_d et V_q par leurs expressions on aura:

$$P(t) = \frac{3}{2} \cdot \left(R_S \cdot (I_d^2 + I_q^2) - \left(I_d \frac{d}{dt} \varphi_d + I_q \frac{d}{dt} \varphi_q \right) + \frac{d}{dt} (\varphi_d \cdot I_q - \varphi_q \cdot I_d) \right) \quad (8)$$

D'où :

$\frac{3}{2}R_s \cdot (I_d^2 + I_q^2)$: Représente la puissance dissipée par effet Joule.

$\frac{3}{2}I_d \frac{d}{dt} \varphi_d + I_q \frac{d}{dt} \varphi_q$: Représente la variation de l'énergie magnétique emmagasinée.

$\frac{3}{2} \frac{d}{dt} (\varphi_d \cdot I_q - \varphi_q \cdot I_d)$: La puissance électromagnétique.

Sachant que :

$$P_e = C_{em} \cdot \Omega \quad \textcircled{9}$$

$$C_{em} = \frac{3}{2} p \cdot (\varphi_d \cdot I_q - \varphi_q \cdot I_d)$$

Le couple électromagnétique dans le référentiel (d,q) est donné par l'expression suivante:
(après l'affectation des valeurs de flux)

$$C_{em} = \frac{3}{2} p \cdot [(L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q + \varphi_{sf} \cdot I_q] \quad \textcircled{10}$$

p: nombre de paire de pôles.

Equations mécaniques :

$$C_{em} - C_r = j \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f \cdot \Omega \quad \textcircled{11}$$

Tel que :

C_r: Couple résistant (N.m).

C_{em}: Couple électromagnétique.

J: Moment d'inertie de la partie tournante (kg.m²).

Ω: Vitesse mécanique (rad/s).

f: Coefficient de frottement visqueux (N.m.s/rad).

II.8.2.3. Schéma fonctionnelle de la MSAP

Dans l'équation (6), nous recherchons des expressions du courant (dI_d , dI_q) et avec l'équation (10) et (11) on trouve :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} I_d = \frac{1}{L_d} (V_d - R_s \cdot I_d + \omega \cdot L_q \cdot I_q) \\ \frac{d}{dt} I_q = \frac{1}{L_q} (V_q - R_s \cdot I_q - \omega \cdot L_d \cdot I_d - \omega \cdot \phi_{sf}) \\ C_{em} = \frac{3}{2} p \cdot [(L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q + \phi_{sf} \cdot I_q] \\ C_{em} - C_r = j \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f \cdot \Omega \end{array} \right.$$

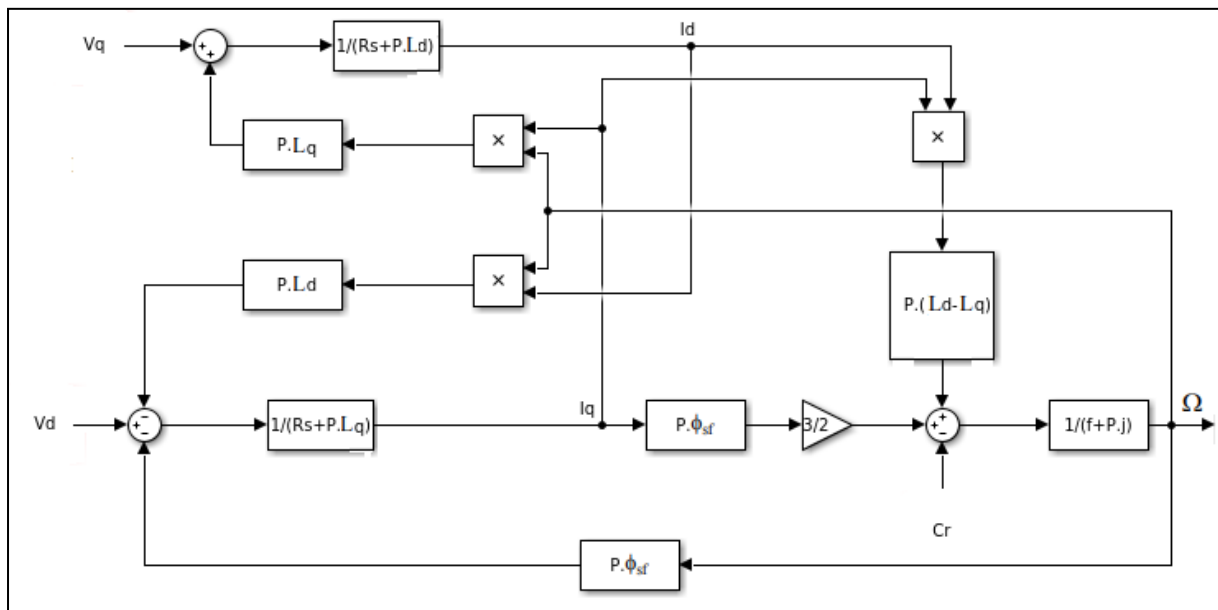


Figure II.16: Schéma bloc d'une MSAP dans le repère de Park. [41]

II.8.3. Hacheur:

Il s'agit d'un convertisseur DC - DC qui permet d'obtenir une tension continue avec une valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe avec un rendement élevé. [38]

Un hacheur peut être réalisé à l'aide des interrupteurs à amorçage et à blocage commandés (transistor bipolaire ou IGBT...) ou les thyristors GTO.

II.8.3.1. Type:

Si la tension de sortie est inférieure à la tension appliquée en entrée → le hacheur est dit dévolteur (abaisseur ou Buck).

Sinon, on dit qu'il survolteur (ou élévateur ou Boost).

Définition du rapport cyclique :

Le rapport cyclique est défini comme le temps t_{ON} pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T , soit :

$$\alpha = \frac{t_{ON}}{T} \quad \text{Avec :} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

On définit également le temps pendant lequel l'interrupteur est fermé par :

$$t_{OFF} = T - t_{ON}$$

II.8.3.1.1. Hacheur série:

Ou convertisseur buck, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur, qui possède un fort rendement et offre la possibilité de réguler la tension de sortie. [39]

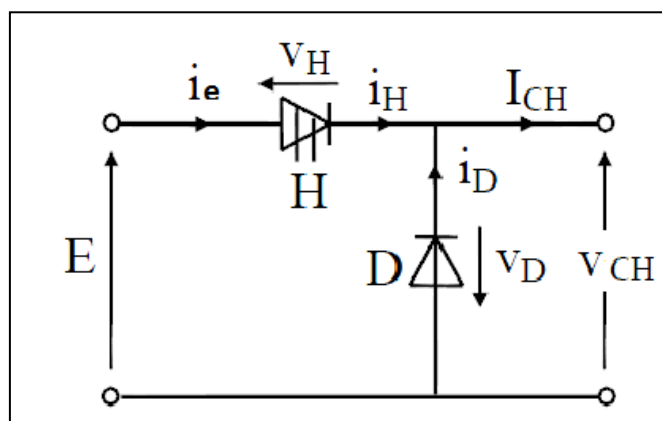


Figure II.17: Hacheur série.

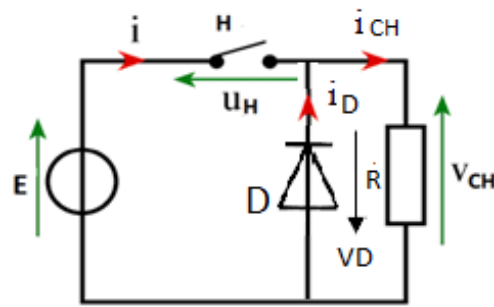
II.8.3.1.1.1. Principe de fonctionnement: (Charge résistive)

E: Source d'alimentation fixe.

T: Période de fonctionnement.

α : S'appelle le rapport cyclique.

H: Interrupteur unidirectionnel parfait.

Analyse du fonctionnement :

- $0 \leq t \leq \alpha T$: **H est fermé** \Rightarrow

La diode de roue libre DRL est polarisée en inverse \Rightarrow DRL bloquée $\Rightarrow i_D = 0$.

$$i = I_{CH}$$

$$V_H = 0$$

$$V_{CH} = E = R \times I_{CH}$$

L'intensité du courant dans la charge:

$$I_{CH} = \frac{E}{R}$$

- $\alpha T \leq t \leq T$: **H est ouvert** \Rightarrow

La diode de roue libre DRL assure la continuité du courant dans la charge et protège H contre les surtensions \Rightarrow DRL passante $\Rightarrow i_D = I_{CH} \rightarrow i = 0$.

$$V_H = E$$

$$V_{CH} = 0 = R \times I_{CH}$$

$$I_{CH} = 0$$

Calcul des grandeurs caractéristiques :

A) *valeur de tension moyenne :*

$$V_{CH \text{ moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt = \frac{E}{T} \times \alpha T$$

$$V_{CH \text{ moy}} = \alpha E$$

B) Valeurs moyennes et efficaces des courants de charge :

Valeur moyenne :
$$I_{CH\ moy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} I_{CH} dt = \frac{I_{CH}}{T} \times \alpha T$$

Alors :
$$I_{CH\ moy} = \alpha I_{CH}$$

Valeur efficace :
$$I_{CH\ eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} I_{CH}^2 dt = \frac{I_{CH}^2}{T} \times \alpha T$$

Alors :
$$I_{CH\ eff} = \sqrt{\alpha} I_{CH}$$

C) Le courant dans la diode :

Valeur moyenne :
$$I_{D\ moy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{CH} dt = \frac{I_{CH}}{T} \times (T - \alpha T)$$

Alors :
$$I_{D\ moy} = (1 - \alpha) I_{CH}$$

Commentaires :

La valeur moyenne de la tension de charge peut être ajustée en jouant sur la valeur du rapport cyclique α donc sur la commande de H.

D : Appelé diode de roue libre car elle est active lorsque la charge n'est pas alimentée. Elle est nécessaire pour un bon fonctionnement du montage.

Afin d'effectuer la simulation, nous avons choisi d'utiliser PSIM, comme le montre la figure suivante :

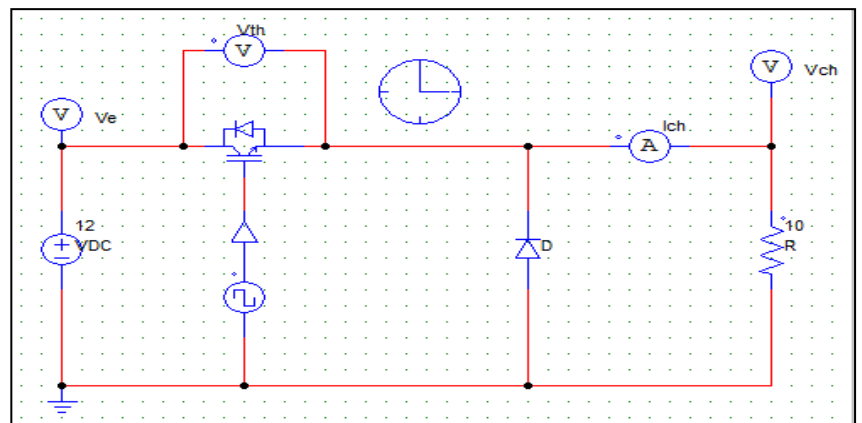


Figure II.18: Hacheur série sur PSIM.

Les résultats de la simulation sont présentés sous les formes suivantes :

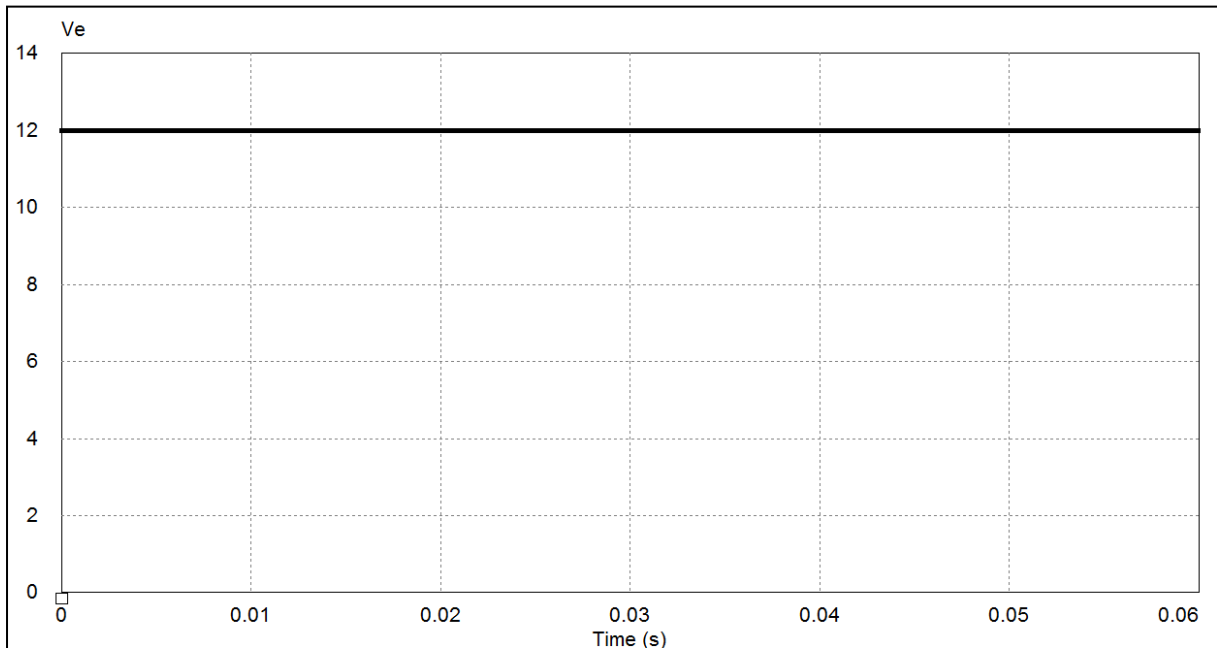


Figure II.19: Courbe de tension d'entrée du hacheur.

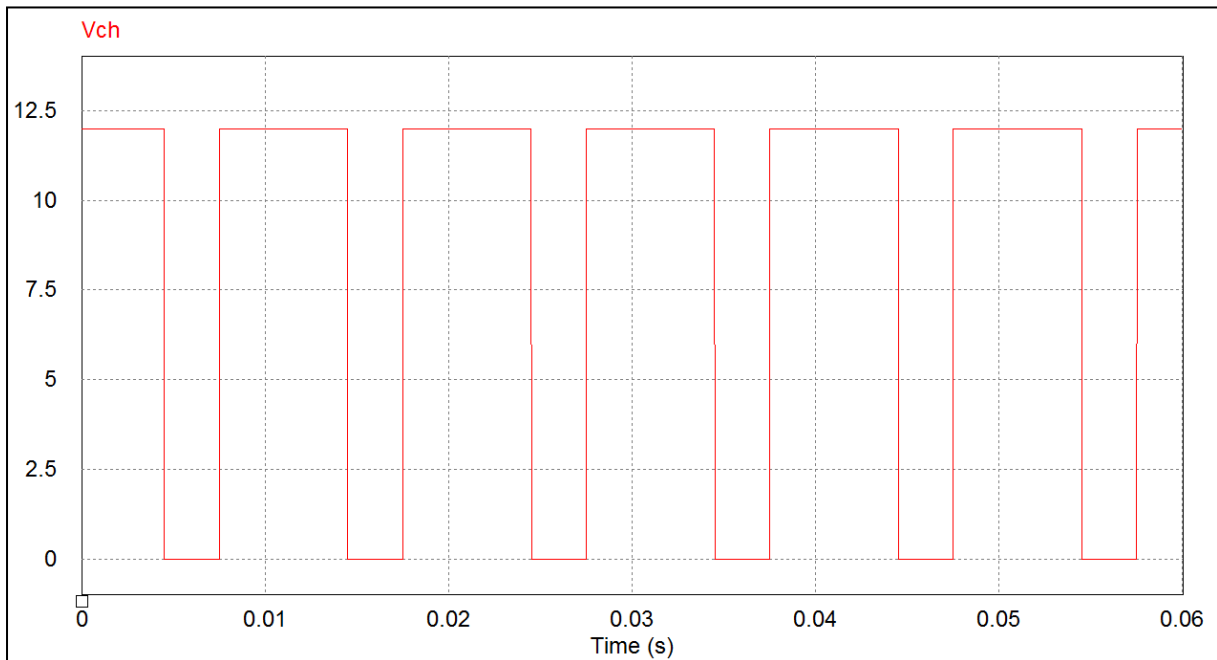


Figure II.20: Courbe de tension de charge de sortie du hacheur.

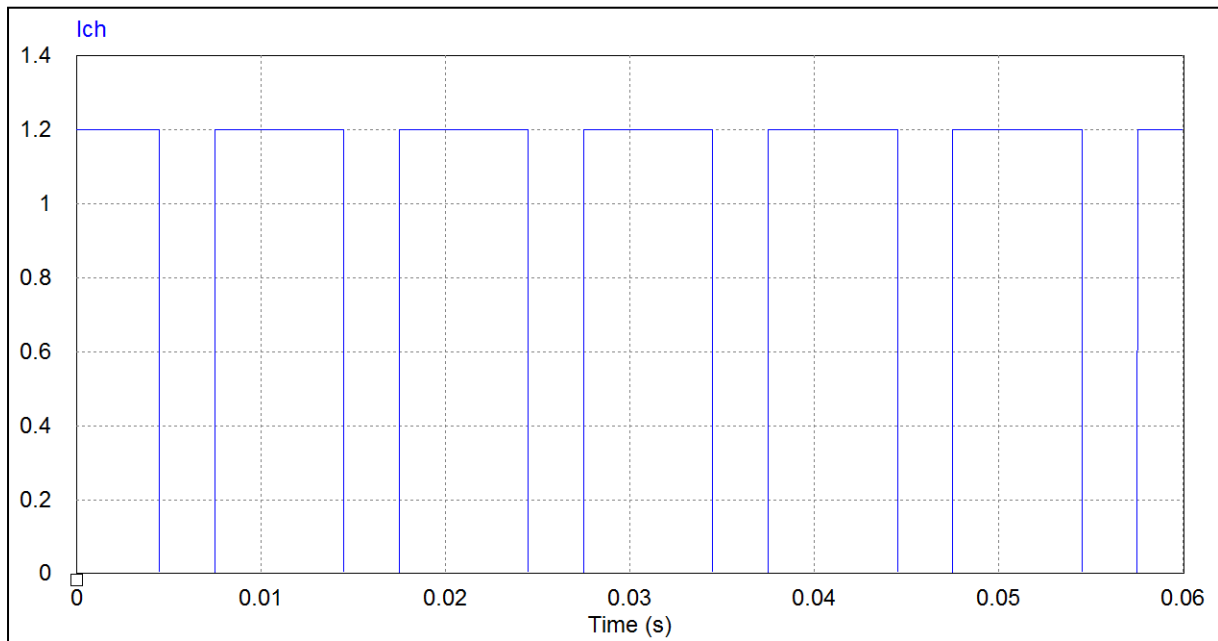


Figure II.21: Courbe de courant de sortie du hacheur.

Interprétation :

Les résultats de la simulation montrent que la tension a en fait diminué.

II.8.3.1.2. Hacheur parallèle:

Ou convertisseur Boost, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. [40]

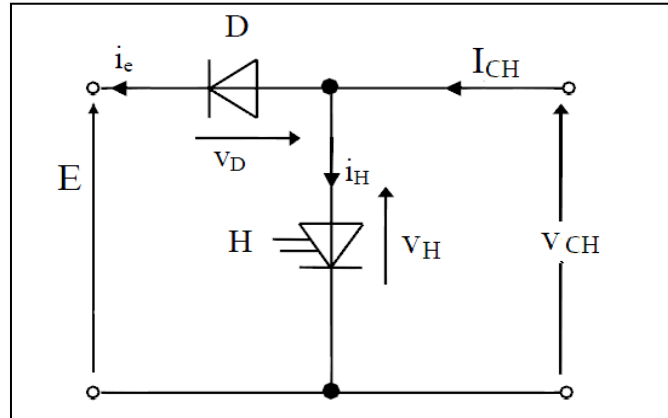


Figure II.22: Hacheur parallèle.

II.8.3.1.2.1. Principe de fonctionnement:(Charge résistive)

Analyse du fonctionnement :

- $0 \leq t \leq \alpha T$:

$$H \text{ est fermé et } D \text{ est bloqué} \Rightarrow \begin{cases} i_e = 0 \\ I_{CH} = i_H \\ V_{CH} = 0 = R \times I_{CH} \end{cases}$$

L'intensité du courant dans la charge:

$$I_{CH} = 0$$

- $\alpha T \leq t \leq T$:

$$H \text{ est ouvert et } D \text{ est passant} \Rightarrow \begin{cases} i_H = 0 \\ i_e = I_{CH} \\ V_{CH} = E = R \times I_{CH} \end{cases}$$

L'intensité du courant dans la charge:

$$I_{CH} = \frac{E}{R}$$

Calcul des grandeurs caractéristiques :

A) valeur de tension moyenne :

$$V_{CH\ moy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T E dt$$

$$V_{CH\ moy} = \frac{E}{(1 - \alpha)}$$

B) Valeurs moyennes et efficaces des courants de charge :

Valeur moyenne : $I_{CH\ moy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{CH} dt = \frac{I_{CH}}{T} \times (T - \alpha T)$

Alors : $I_{CH\ moy} = (1 - \alpha) I_{CH}$

Valeur efficace : $I_{CH\ eff}^2 = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{CH}^2 dt = \frac{I_{CH}^2}{T} \times (T - \alpha T)$

Alors : $I_{CH\ eff} = \sqrt{(1 - \alpha)} I_{CH}$

Le modèle sur PSIM est donné par la figure suivante :

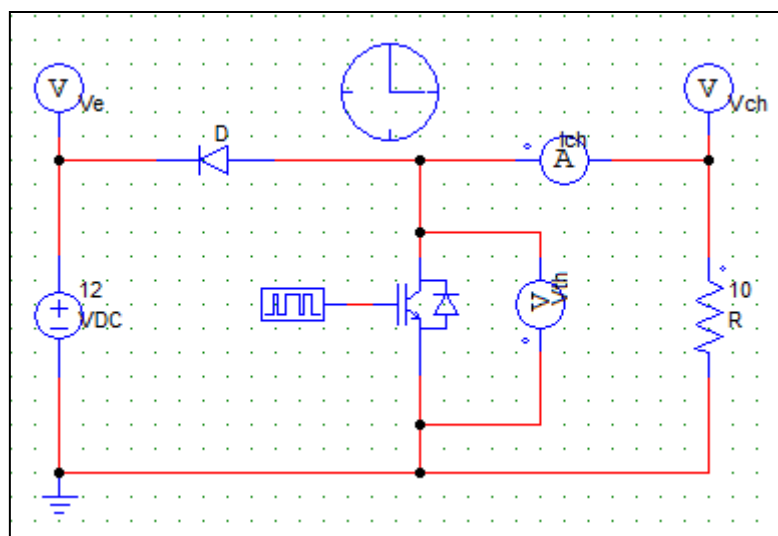


Figure II.23: Hacheur parallèle sur PSIM.

Les résultats de la simulation sont présentés sous les formes suivantes :

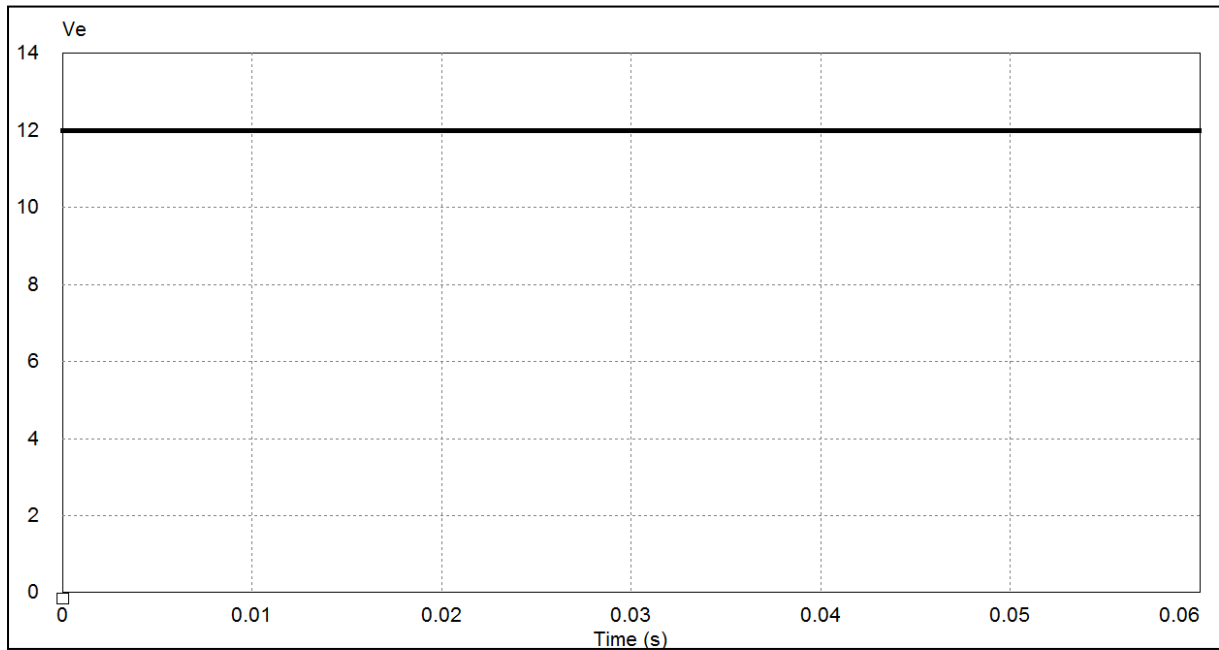


Figure II.24: Courbe de tension d’entrée du hacheur.

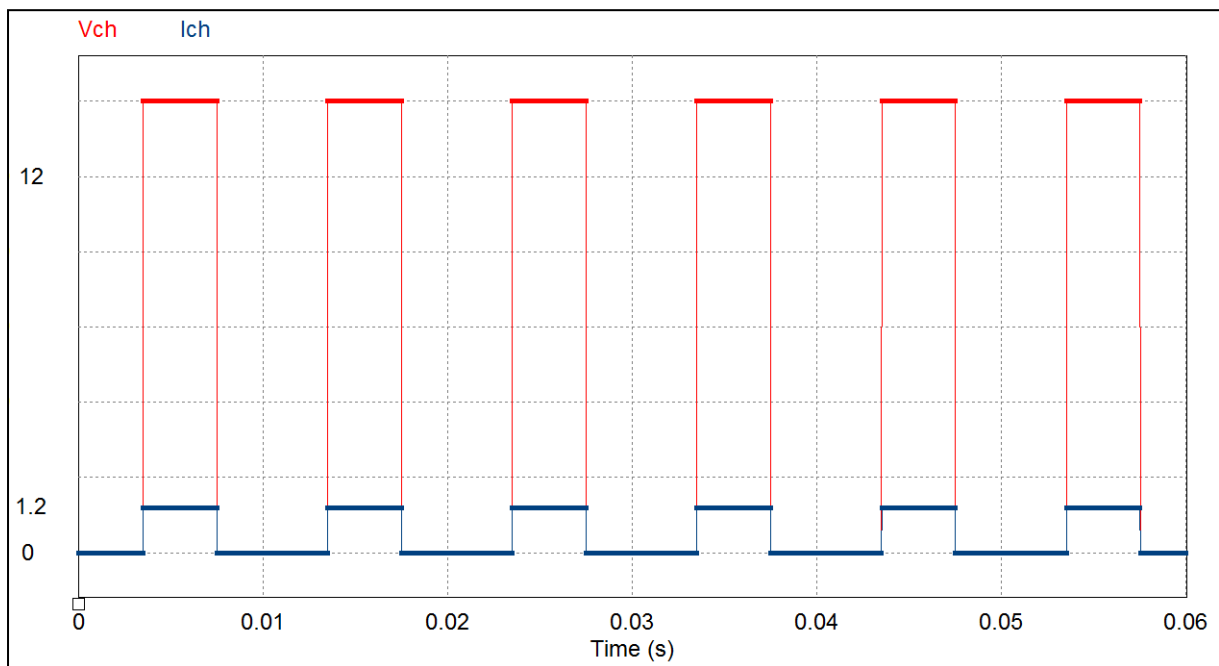


Figure II.25: Courbe de tension et de courant de charge de sortie du hacheur.

Interprétation :

Nous remarquons, à partir de ces figures que le hacheur a augmenté la tension de sortie par rapport à la tension d’entrée.

II.8.4. Régulateurs de tension:

Le régulateur de tension est un circuit intégré. Son rôle est source de tension. En d'autres termes, il doit fournir une tension constante pour tout courant de sortie ou toute charge (la tension d'entrée est supérieure à la valeur requise pour la stabilisation, c'est-à-dire la valeur de sortie).

- Il existe trois types de régulateurs de tension :

Régulateur de tension positive, régulateur de tension négative et régulateur de tension variable et réglable.

II.8.4.1. Régulateur de tension positive:

C'est un régulateur de tension qui produit la tension positive, qui est le plus utilisé et commence par le nombre **lm78xx** où **xx** représente la valeur de tension à la sortie, comme:[34]

- ✓ Le LM 7805 est un régulateur de tension 5V.
- ✓ Le LM 7806 est un régulateur 6 volt.
- ✓ Le LM 7812 est un régulateur de tension 12 volte etc.

II.8.4.2. Régulateur de tension négative:

C'est un régulateur de tension qui produit une tension négative et commence par le nombre **lm79xx**. [34]

- ❖ Le régulateur de tension positive et le régulateur de tension négative sont deux régulateurs de tension fixes (c'est celui qui fournit une tension de sorti constante telle qu'un régulateur 5V ou 6V, etc.)

II.8.4.3. Régulateur de tension variable LM317:

Le **LM317** est un régulateur de tension positive réglable à trois pattes (entrée, réglage, sortie) et a la capacité de fournir un courant maximum de **1,5** ampère.

Le **lm317** fonctionne avec une tension d'entrée de **3 v** à **40 v max**, avec une tension de sortie réglée de **1,25 v** à **37 v max**. Cela se fait en utilisant des résistances avec **lm317** dans son circuit, l'une des résistances à valeur fixe et l'autre réglable (résistance variable) pour pouvoir réguler la tension de sortie en ajustant la valeur de la résistance variable.

- Ou il est possible d'utiliser deux résistances à valeurs fixes en cas de vouloir stabiliser la tension de sortie. [33]

	MIN	MAX	UNIT
Tension de sortie (Output voltage)	1.25	37	V
Tension d'entrée (Input voltage)	3	40	V
Courant de sortie (Output current)	0.01	1.5	A

Tableau II.5: Conditions de fonctionnement. [35]

Caractéristiques :

- Plage de tension de sortie réglable de **1.25V à 37V**.
- Internal short-circuit current limiting:

Cela signifie arrêter de travailler en cas de consommation d'un courant important et réduire le courant afin de le maintenir en sécurité.

- Thermal overload protection:

Ou protection contre les surcharges thermiques internes, Son but est de protéger le régulateur de tension lorsque sa température augmente dans une certaine mesure, afin qu'il cesse de fonctionner automatiquement au lieu d'être endommagé. Cette fonction aussi appelée (thermal shutdowns protection).

Les broches de LM317:

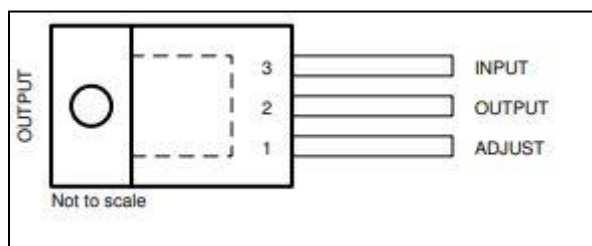


Figure II.26: Configuration des Pin. [33]

PIN	NAME	DESCRIPTION
1	ADJUST	C'est celui qui permet de régler la tension de sortie (à l'aide de deux résistances)
2	OUTPUT	C'est lui qui donne La tension de sortie que nous avons régulée
3	INPUT	La tension d'entrée à laquelle le régulateur est alimenté

Tableau II.6: Fonction de Pin. [33]

Applications dans lesquelles LM317 est utilisé:

- ✓ Contrôle du moteur.
- ✓ Charger les batteries.
- ✓ Sources d'alimentation.

Circuit régulateur de tension LM317:

La tension de sortie est contrôlée par la formule suivante:

$$V_{out} = V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

- ❖ V_{ref} : Il représente la différence de potentiel entre V_{out} et Adj , égale à 1,25 volt.

Remarque: plus la valeur de résistance R_2 (connectée à l'extrémité **Adj**) est élevée, plus la valeur de la tension de sortie est élevée. [29]

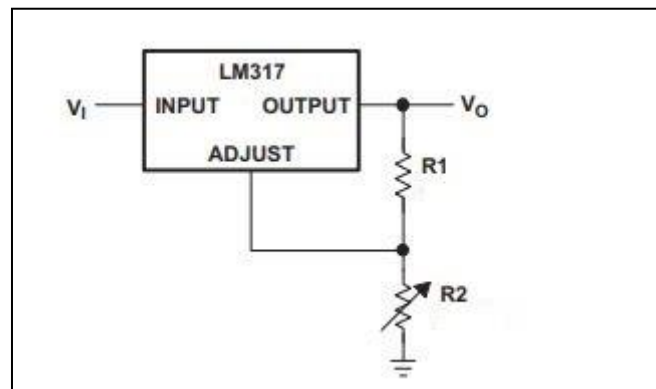


Figure II.27: Circuit régulateur de tension. [35]

Pour que le **LM317** organise la tension correctement et de manière stable, une charge consommant **10mA** doit être placée au moins, et ceci est une fonction de R_1 donc elle doit être réglée pour que **10mA** passe à travers et la tension sur elle est de **1,25V**

Loi d'Ohm:

On peut en déduire la valeur la plus basse de la résistance R_1

$$R_1 = \frac{1.25V}{10_{mA}} = 125\Omega$$

Les meilleures valeurs pour R_1 sont de **220Ω** à **240Ω** pour une meilleure stabilité de la tension de sortie.

Le LM317 peut-il être utilisé comme régulateur de courant?

Oui, le régulateur de tension **LM317** peut être utilisé comme régulateur de courant à la place de la tension. C'est en installant la charge à la place de la résistance R_2 , Le courant de régulation peut être calculé par la relation suivante:

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R_1}$$

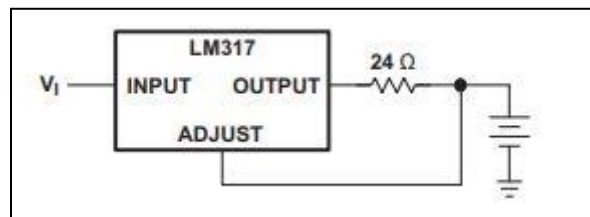


Figure II.28: Exemples de Circuit de chargeur de batterie à courant constant. [35]

II.8.5. Stockage d'énergie électrique:

C'est pour conserver l'énergie produite en vue de l'utiliser ultérieurement.

il n'est pas possible de stocker l'énergie électrique directement car le courant électrique est le mouvement des électrons. Par conséquent, il est toujours nécessaire de convertir l'énergie électrique en un autre type d'énergie, puis de la restituer sous forme d'énergie électrique lorsque cela est nécessaire. Et pour stocker l'énergie nous utilisons une batterie.

La batterie:

Il s'agit d'une ou plusieurs unités utilisées pour produire de l'énergie électrique en convertissant l'énergie chimique stockée dans les cellules électrochimiques à l'intérieur de la batterie en énergie électrique.

II.8.5.1. Composition: Il est généralement composé de: [36]

- **Boîte en métal ou en plastique:** représente l'extérieur de la batterie.
- **Electrodes:** positives et negatives.
- **Séparateur:** substance qui sépare l'électrode positive de l'électrode négative et empêche le contact entre elles.
- **Électrolyte:** c'est le milieu qui permet le passage libre des charges électriques entre les électrodes.
- **Le collecteur:** c'est le composant qui collecte le courant électrique et le relie de la batterie aux appareils électriques.

II.8.5.2. Types: divisés en deux parties: [36]

- 1) **Les piles primaires:** ne sont utilisées qu'une seule fois et ne peuvent pas être rechargées, Tel que [piles alcalines, piles zinc et carbone].
- 2) **Les batteries secondaires:** sont des batteries rechargeables plusieurs fois.
 - Batteries au lithium-ion:

il existe différents types de batteries au lithium-ion, mais les plus célèbres sont les batteries dont le pôle positif est en oxyde de lithium-cobalt et le pôle négatif en carbone, et ces batteries sont souvent utilisées dans des appareils à hautes performances, tels que: appareils photo numériques, téléphones mobiles et voitures électriques.

- Accumulateur au plomb:

C'est une batterie composée de cellules de tension connectées ensemble, utilisées dans les voitures et génère une différence de tension de **12 volts**.

Installation

L'accumulateur contient un ensemble de plaques positives et négatives.

Ces panneaux sont peints et remplis de plomb éponge [Pb] s'ils sont négatifs et de dioxyde de plomb [PbO₂] s'ils sont positifs, cette batterie est remplie d'acide sulfurique et d'eau distillée [H₂SO₄] et chargée d'une charge électrique initiale pour démarrer la réaction entre l'acide et l'eau d'une part et les matériaux de plomb d'autre part, ce qui entraîne un courant électrique traversant les pôles de la batterie.

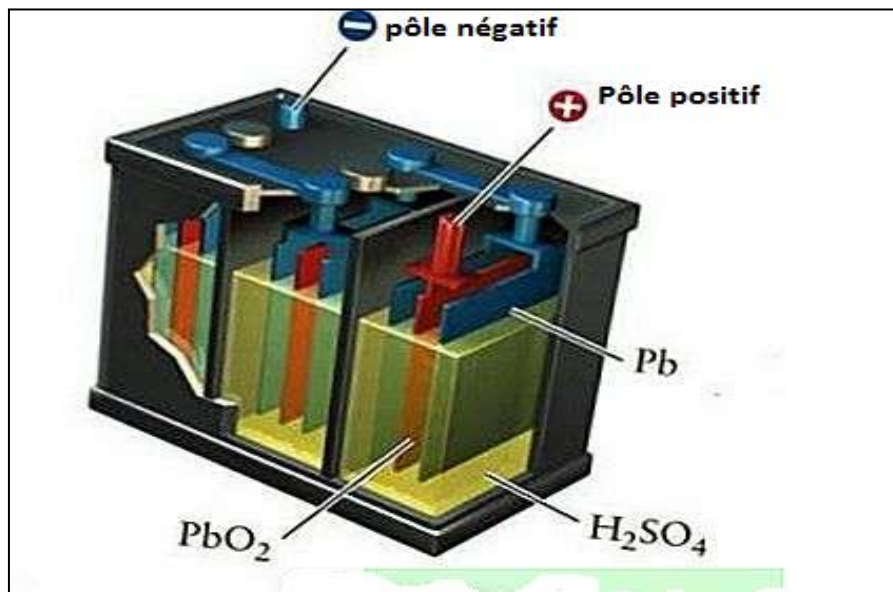
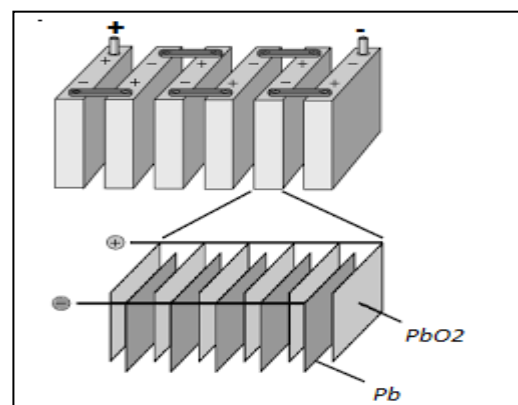


Figure II.29: Batterie au plomb. [37]

❖ Ces panneaux sont disposés de manière interchangeable les uns à côté des autres et avec un séparateur isolant entre chaque plaque positive et négative pour éviter tout court-circuit. Adjacent en parallèle et aux extrémités de la batterie, un conducteur connecté aux plaques négatives et l'autre au positif sont placés et ils représentent les pôles de la batterie [positif et négatif].

Figure II.30: Disposez les panneaux pour la batterie.



II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté des concepts théoriques des éoliennes (performances, paramètres, caractéristiques, régulation) et de la chaîne de conversion proposée afin de comprendre le principe de fonctionnement de chaque composant de cette série. À partir du moteur Jusqu'au stockage et à la consommation d'énergie électrique.

Chapitre 03

Simulation de la génératrice éolienne et du circuit de commande

Introduction

Dans ce dernier chapitre nous contribuons à l'étude de la simulation à l'aide du logiciel MATLAB / SIMULINK; toute la chaîne de conversion des éoliennes sera traitée pour assurer (confirmer) le bon fonctionnement du système proposé.

III.1. MATLAB Simulink

Simulink est une plateforme de simulation multi-domaines et de modélisation de systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques qui permettent la conception et la simulation. Simulink est intégré à MATLAB, offrant un accès instantané à plusieurs outils de développement d'algorithmes, de visualisation et d'analyse de données dans MATLAB.

III.2. Description du système étudié

Le modèle de PMSG implémenté dans matlab Simulink comme le montre la **figure 3.1**, La méthode présentée et les résultats de la simulation sont conduits dans MATLAB /SIMULINK.

La vitesse du vent de base est considérée comme 12m /s. (la vitesse du vent changeant est également présentée dans ce modèle).

Le modèle Simulink de la turbine est illustré dans la **figure** suivante, Les trois entrées sont la vitesse du générateur (ω_{pu}) en pu de la vitesse nominale du générateur, l'angle de calage en degrés et la vitesse du vent en m / s. Le rapport de vitesse de pointe λ en pu de λ_{nom} est obtenu par la division de la vitesse rationnelle en pu de la vitesse de rotation de base (définie dans la **figure B.3**) et de la vitesse du vent en pu de la vitesse du vent de base. La sortie est le couple appliqué à l'arbre du générateur **Tm** (pu).

Une éolienne basée sur un modèle à 2 masses est utilisée dans ce système pour fournir un couple mécanique **Tm** / entrée vers un générateur à aimant permanent synchrone. La puissance triphasée que ce système génère.

Le couple **Tm** est produit en pu pour être obtenu à sa valeur réelle en multipliant ce couple par le couple primaire (Base Torque), puis appliqué au **PMSG** pour produire une puissance électrique triphasée, (**m**) nous donne un jeu de données (vers busseluctor pour réorganiser les sélections) nous choisissons ce que nous voulons mesurer, D'autre part, nous calculons les valeurs de la tension **Vab** et de courant **IL** résultantes et trouvons la valeur de puissance **Wp**.

Passons de (wind generation) à (wind PMSG)

V_{abc} et I_{abc} déterminent la puissance active P et réactive Q , puis à la valeur de masse moyenne discrète (block Discrete Mean value) nous obtenons la puissance active moyenne.

Le modèle de simulation de notre système est présenté dans la figure suivante :

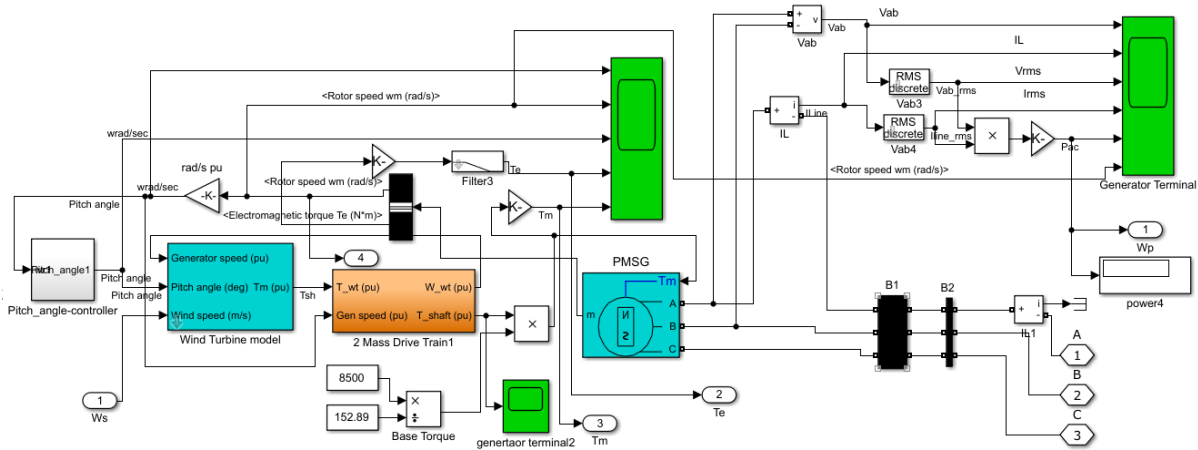


Figure III.1: Schéma bloc d'un PMSG modélisé avec simulink.

La figure suivante montre le **Wind PMSG** contenant le modèle de la figure 3.1 :

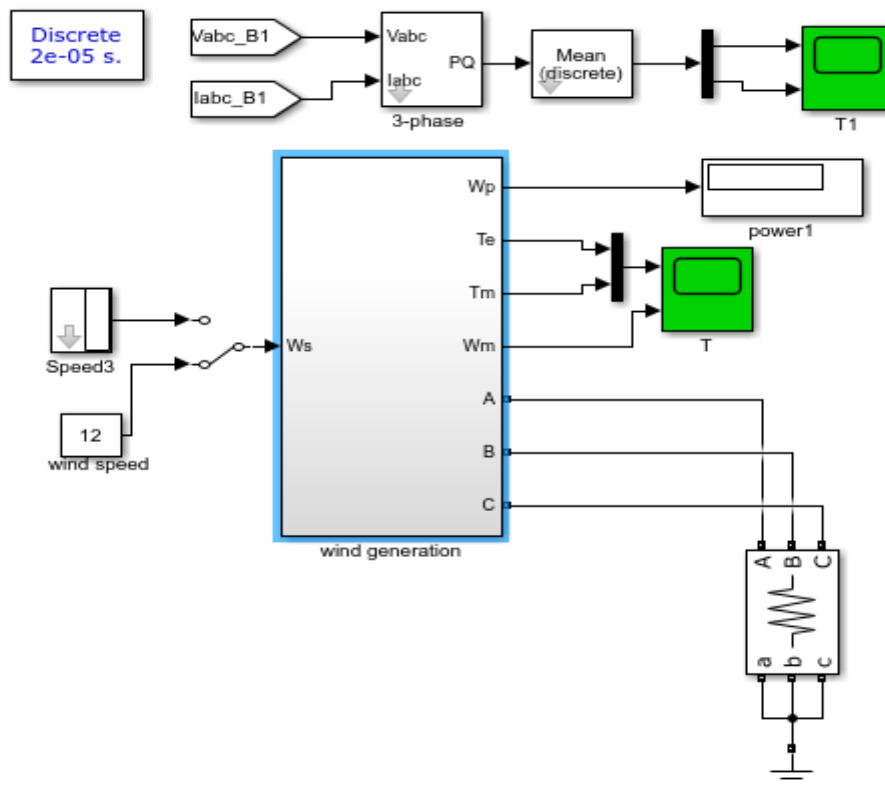


Figure III.2: Bloc Simulink d'un wind PMSG.

Nous avons réalisé des mesures expérimentales pour mesurer la tension de sortie en fonction de la vitesse du générateur et les résultats de la mesure expérimentale ont été utilisés pour vérifier le modèle mathématique dans un environnement matlab Simulink.

Les résultats sont présentés dans le **tableau 1** :

	Vitesse (rad / s)	Tension (expérience) (V)	Tension (simulée) (V)
1	50	127.1	132.2
2	100	262.497	266.3
3	130	338.8	341.9
4	150	390	394.8

Tableau III.1 : Comparaison des résultats de la mesure expérimentale et du modèle mathématique.

III.3. Simulation et interprétation des résultats

III.3.1. Résultats de la simulation

On considère un profil des vitesses du vent comme suit:

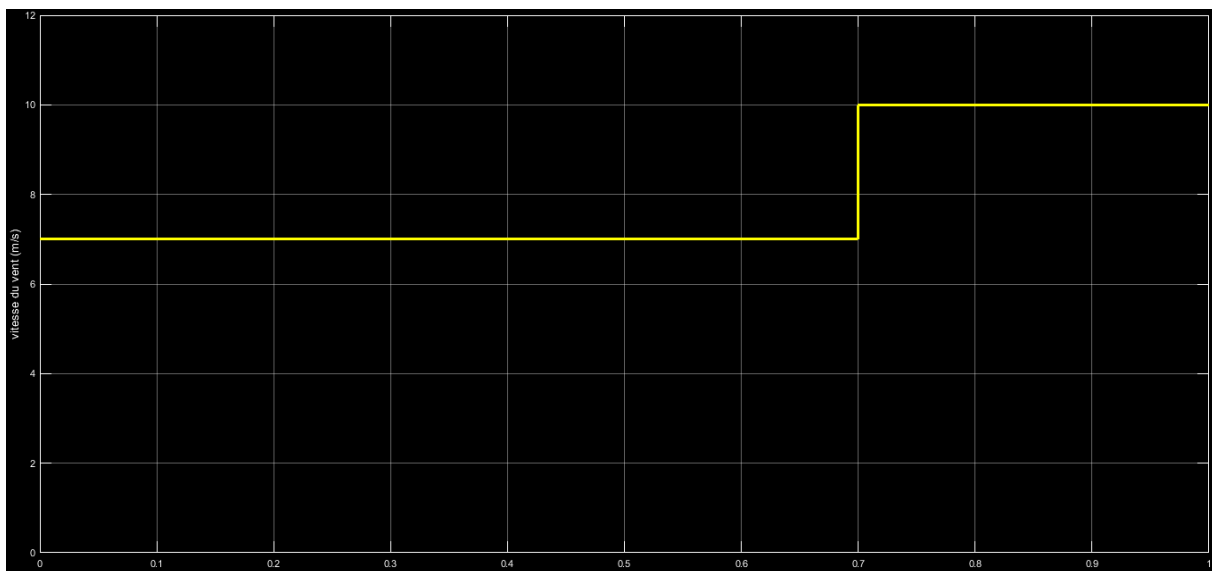


Figure III.3: Profil du vent appliqué (m/s).

1- Modèle d'éolienne

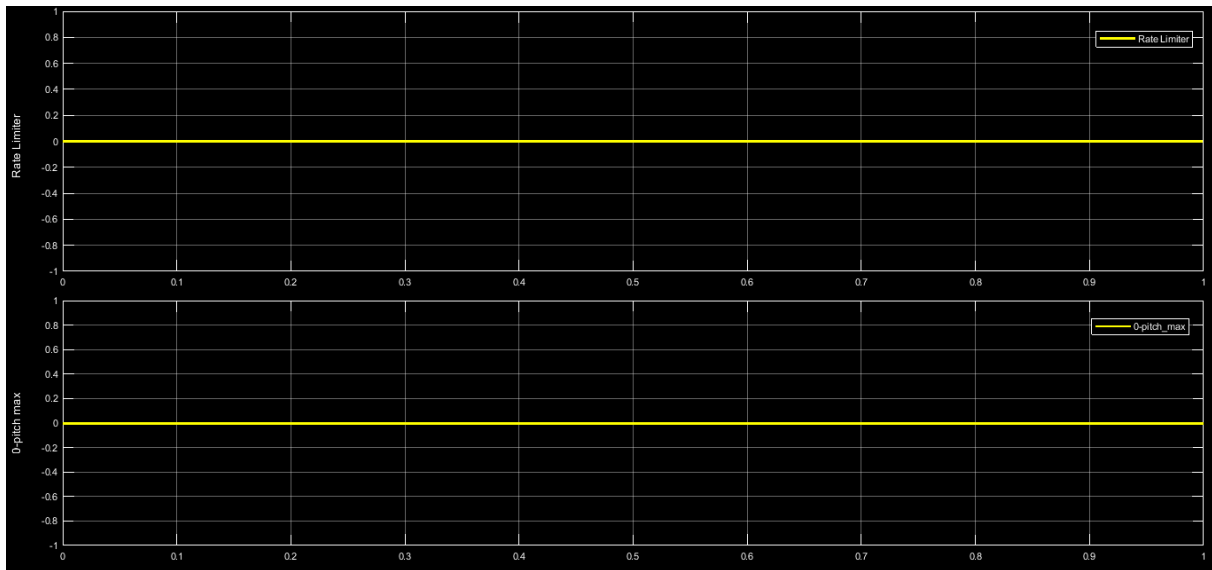


Figure III.4: Contrôleur d'angle de pas (deg⁰).

Propriété de la turbine $C_p(\lambda)$:

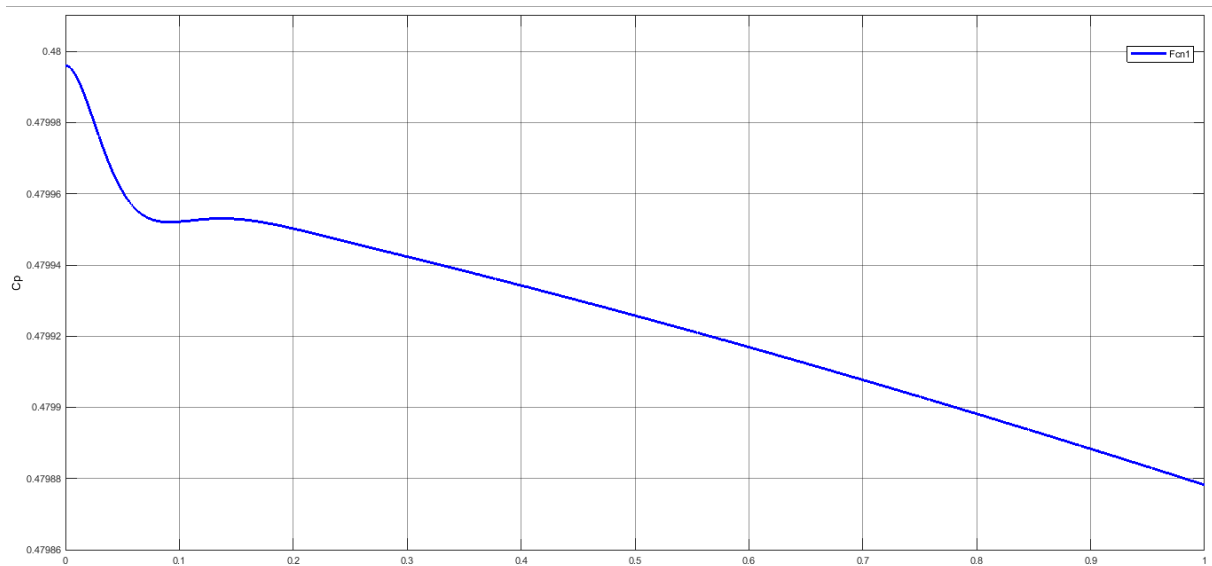
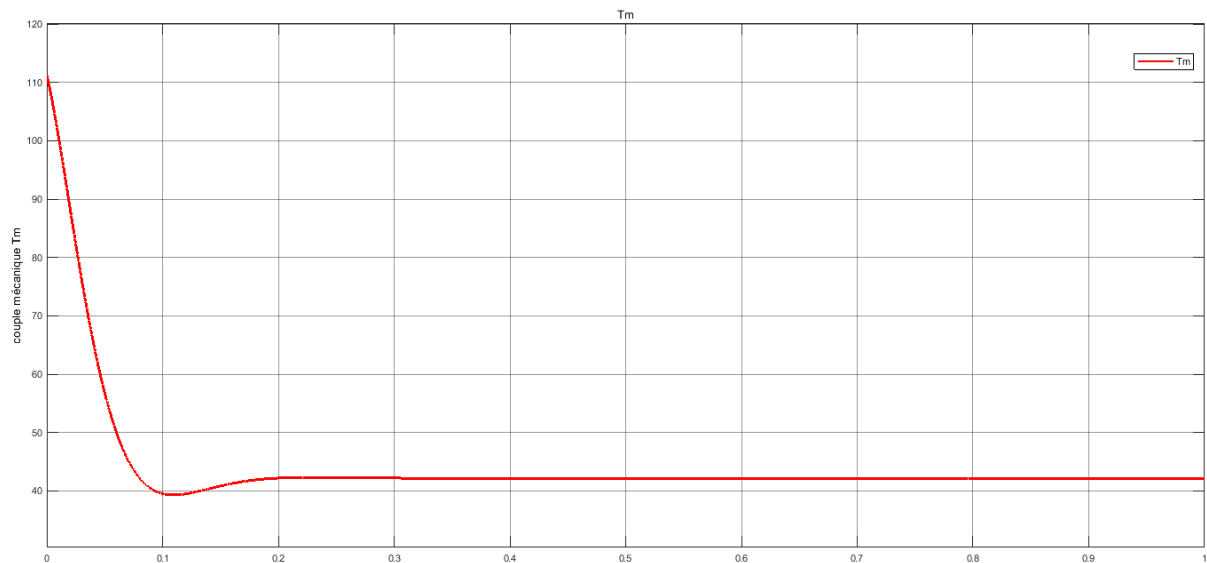
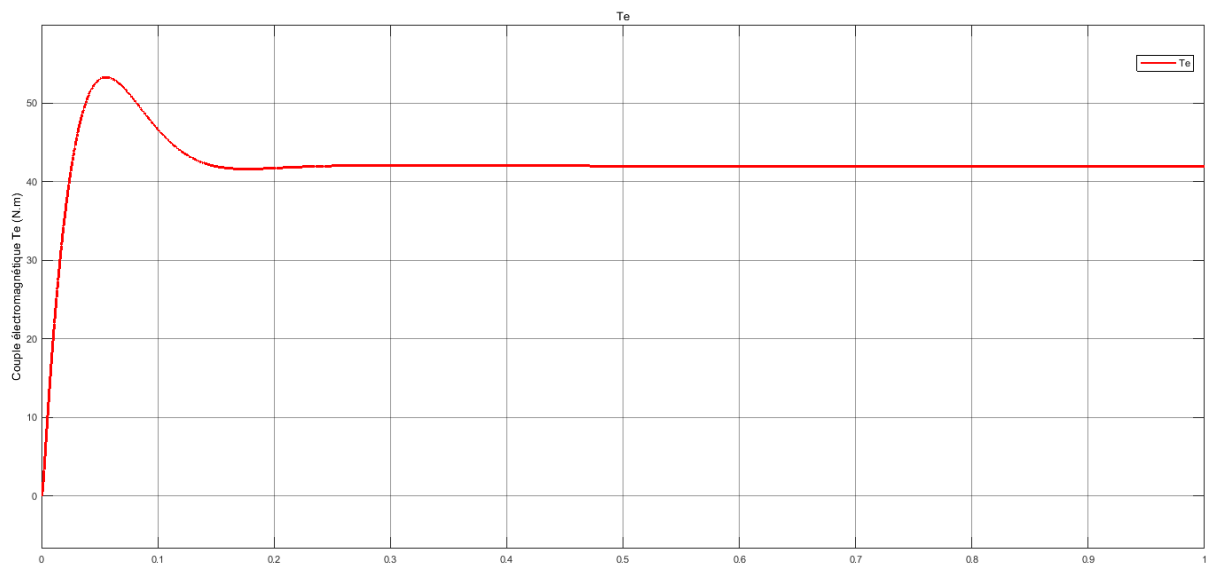


Figure III.5: Courbe de Coefficient de puissance $C_p(\lambda)$.

2- Modèle à 2 masses

Figure III.6: Courbe de couple mécanique T_m (N.m).

3- PMSG

Figure III.7: La courbe du moment électromagnétique T_e (N.m).

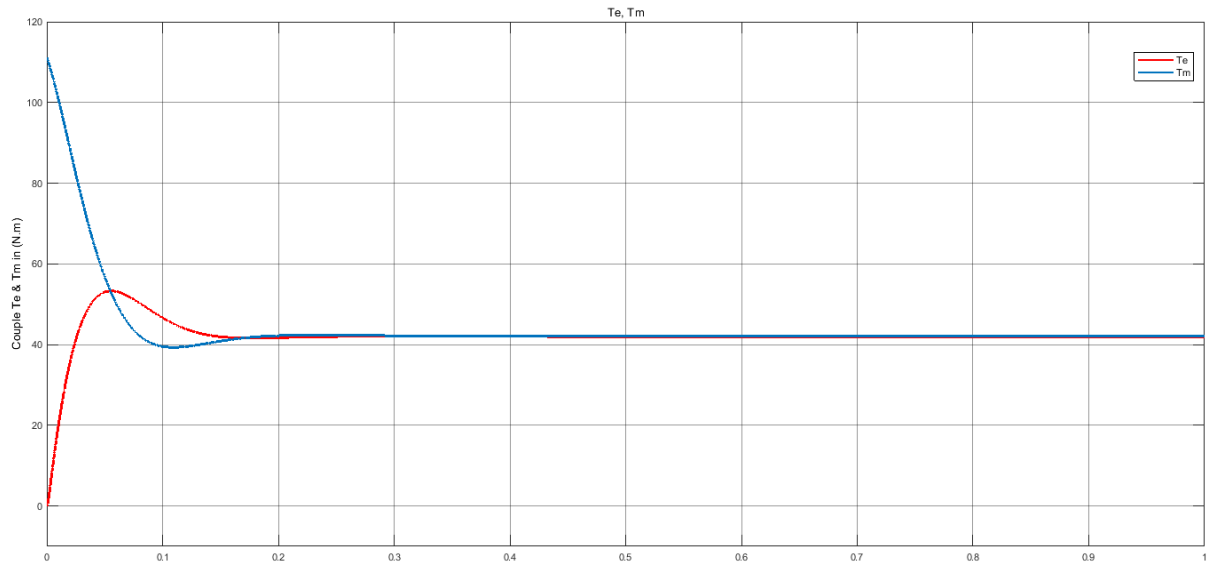


Figure III.8: Courbe de couple T_e et T_m (N.m).

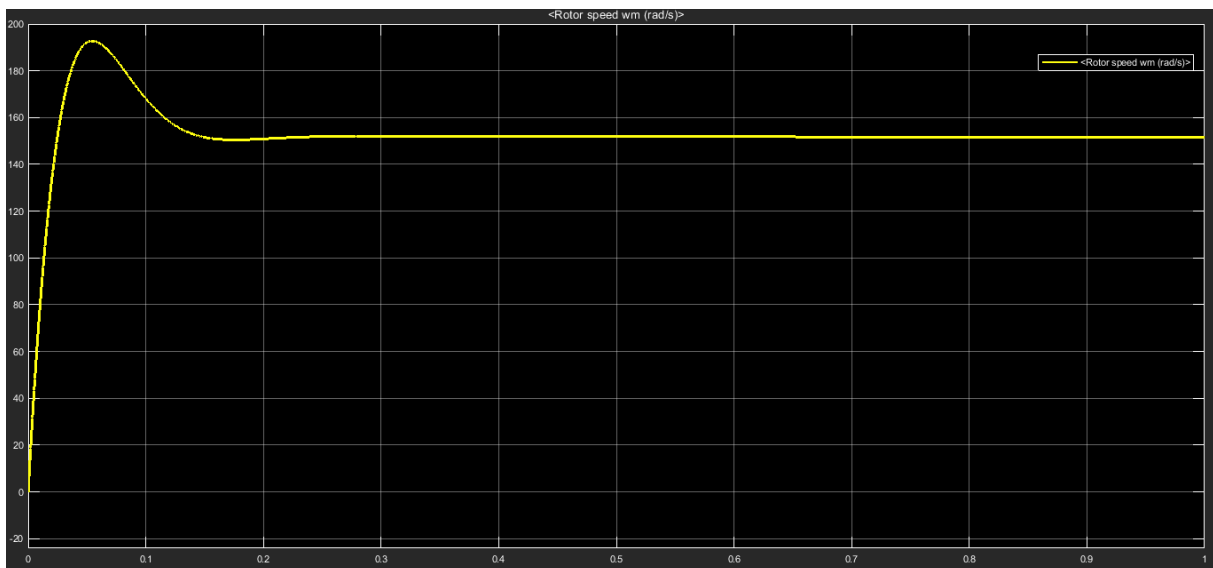


Figure III.9: Vitesse du rotor ω_m (rad / s).

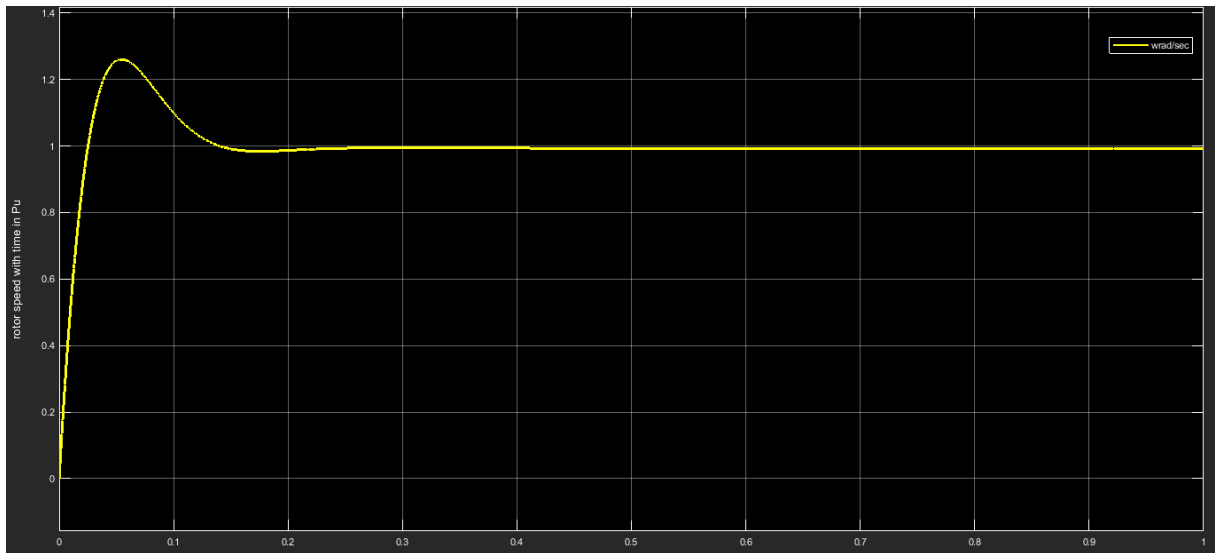


Figure III.10: Vitesse du rotor dans le temps en Pu.

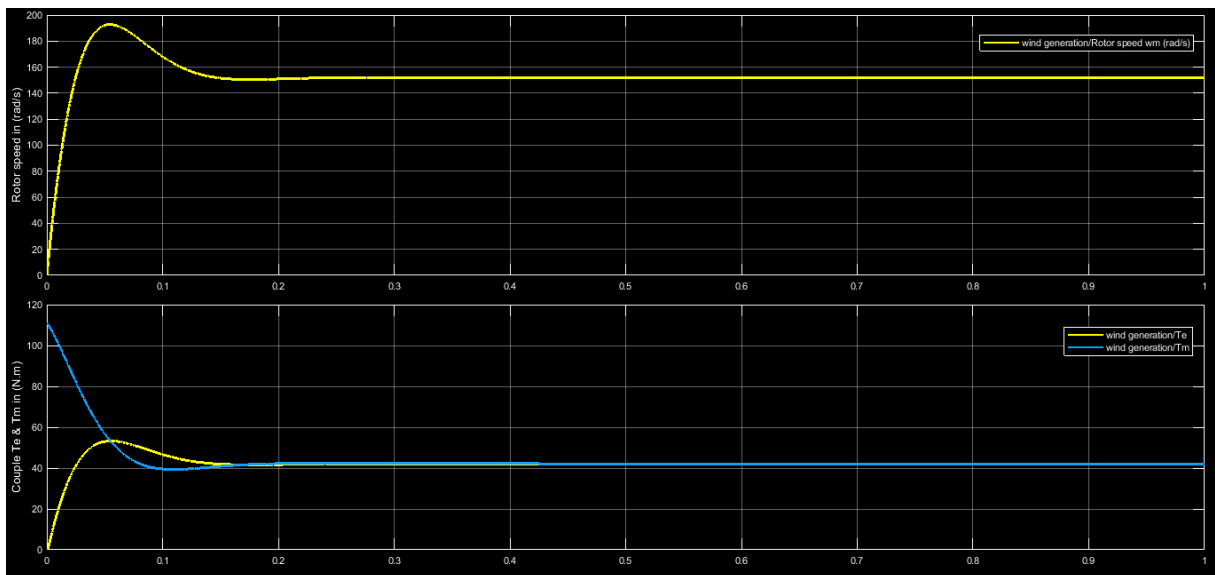


Figure III.11: Courbe de couple et de vitesse.

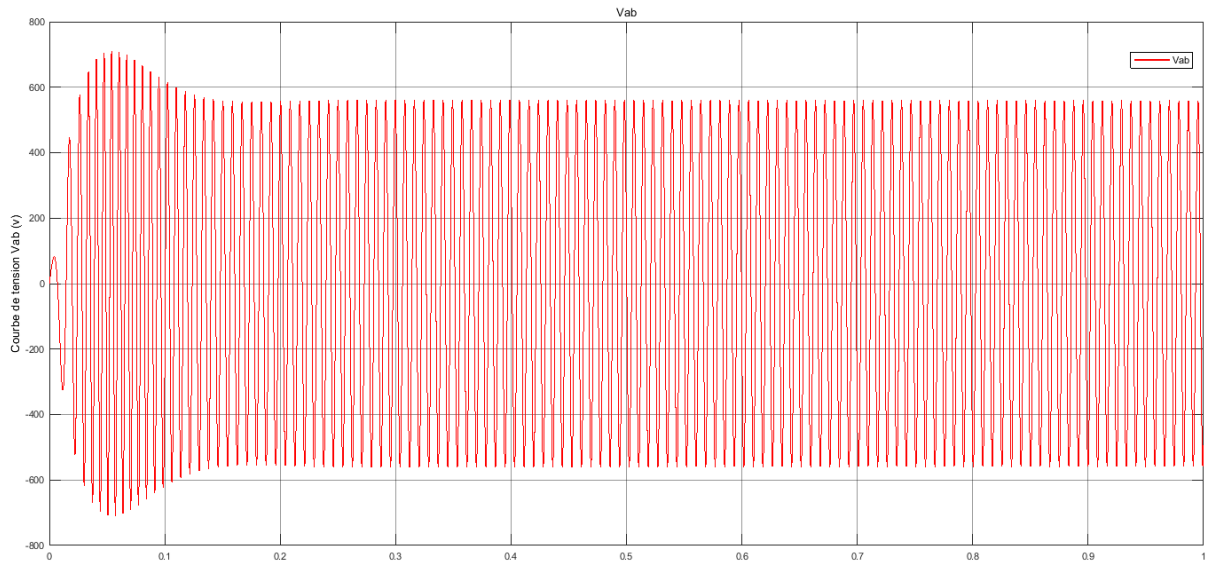


Figure III.12: Courbe de tension Vab (V).

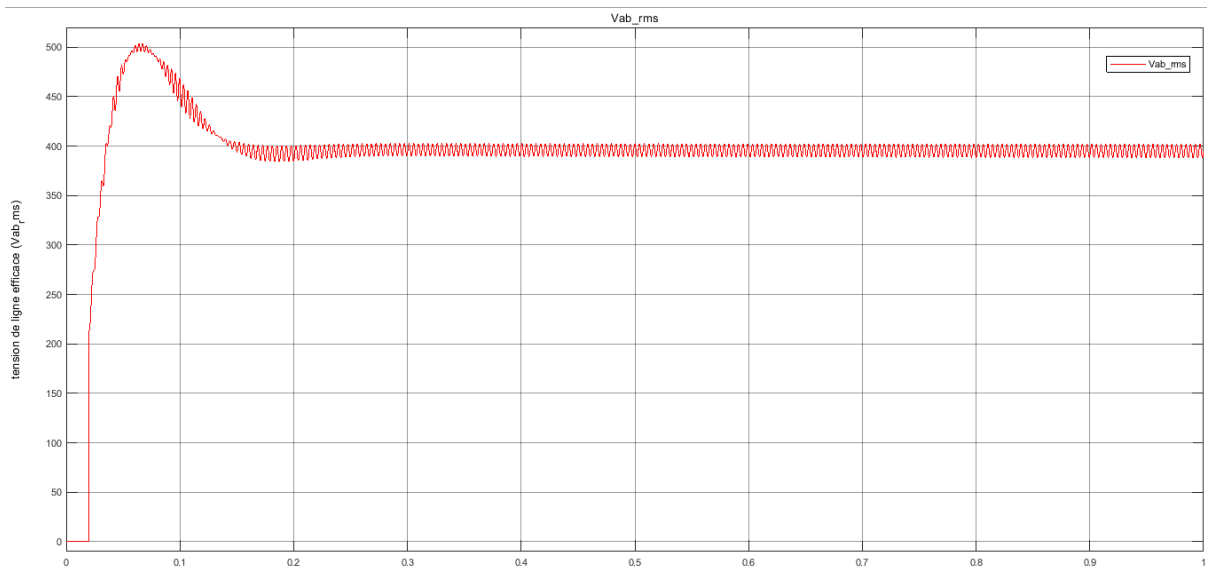


Figure III.13: Courbe de tension de ligne efficace (Vab_rms).

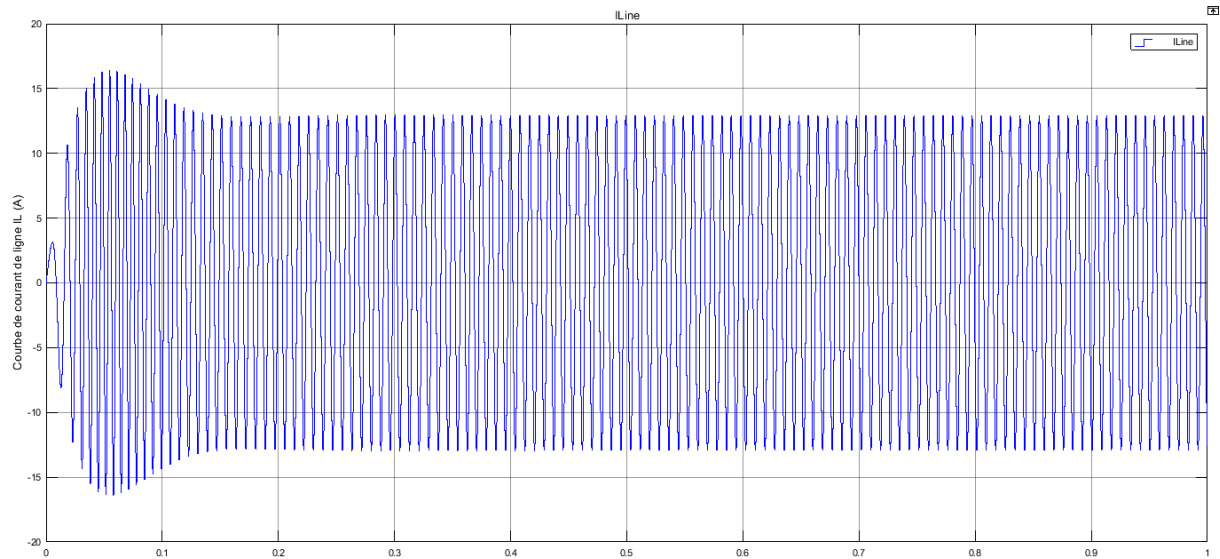


Figure III.14: Courbe de courant de ligne II (A).

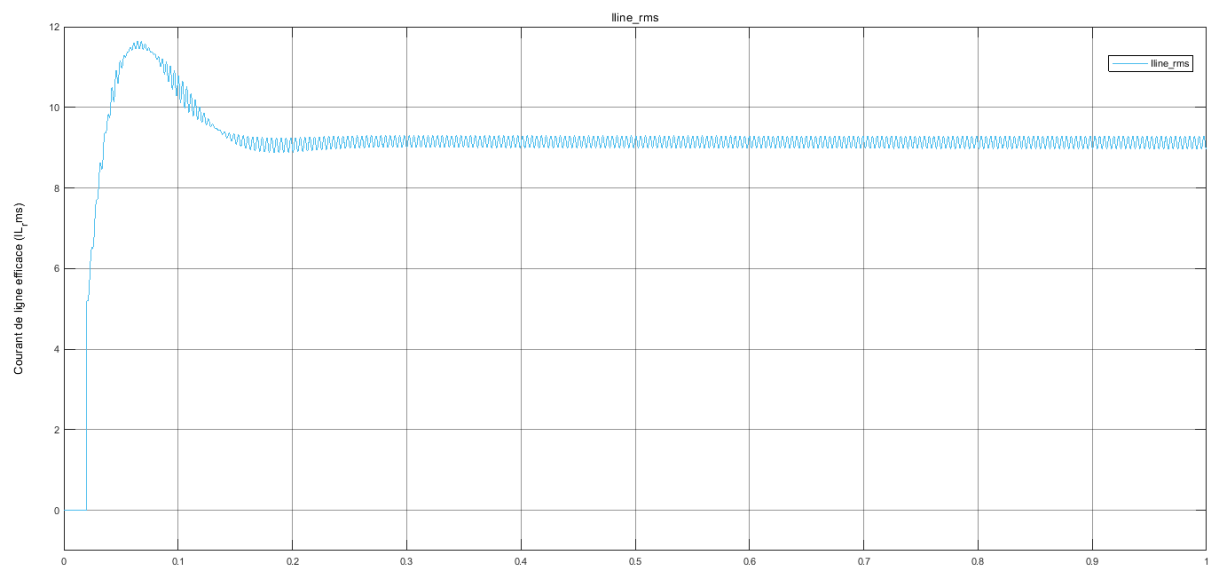


Figure III.15: Courbe de courant de ligne efficace RMS (I_{L_rms}).

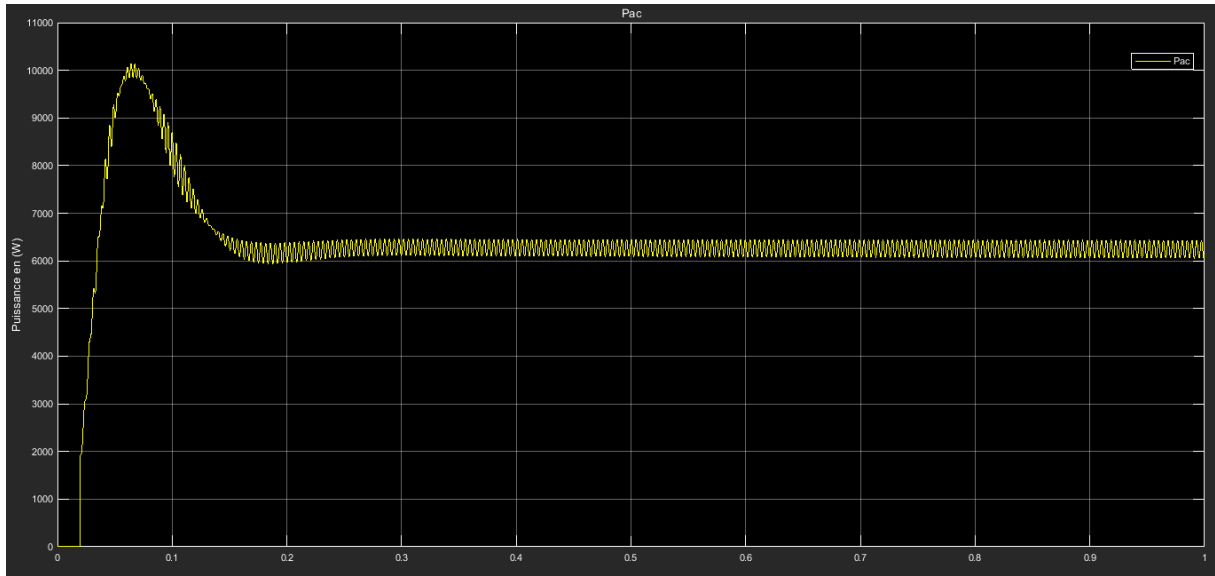


Figure III.16: Puissance produite par les éoliennes W_p (w).

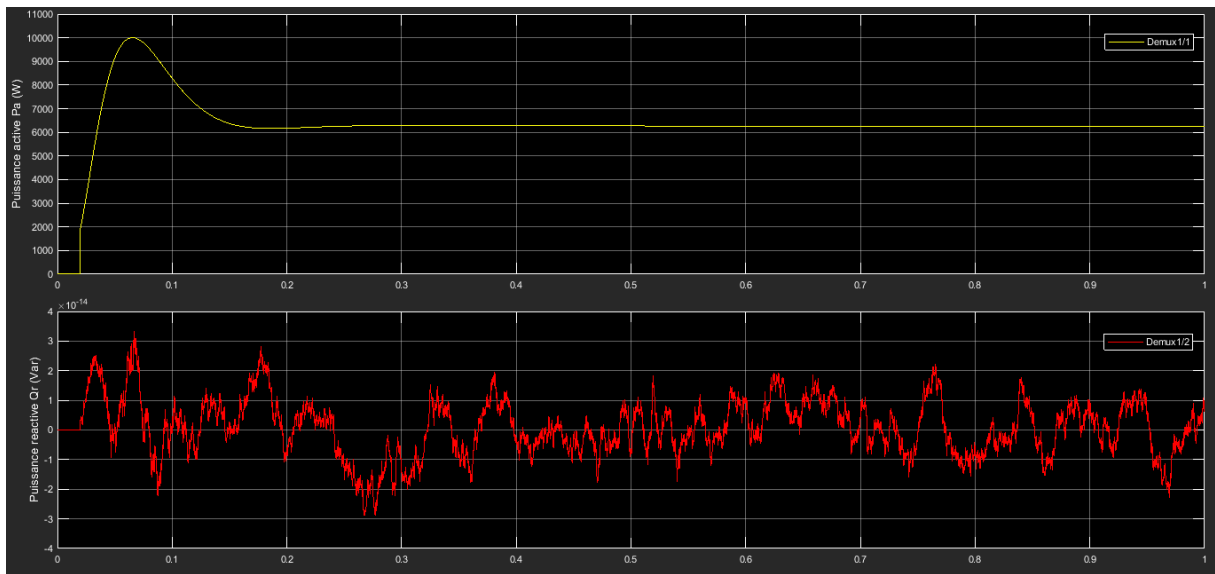


Figure III.17: Représentation de Puissance active P (w) et puissance réactive Q (var).

Nous avons changé la valeur de la vitesse du vent à 7 mètres / seconde, les résultats obtenus sont indiqués dans les deux figures suivantes :

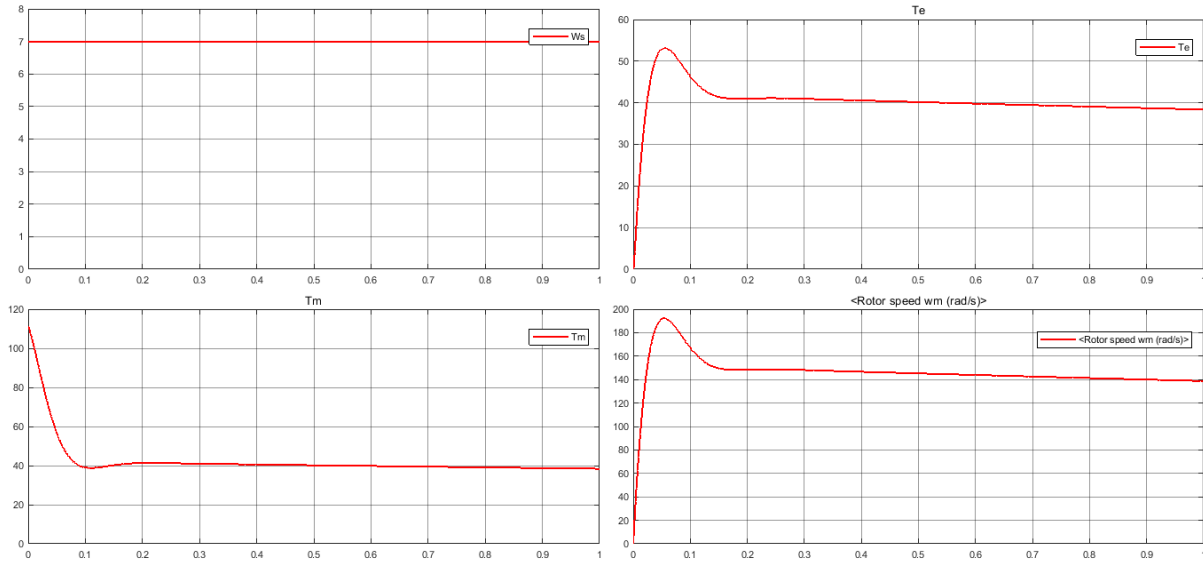


Figure III.18: Changements de couple (mécanique T_m et électromagnétique T_e) et de vitesse du rotor W_m .

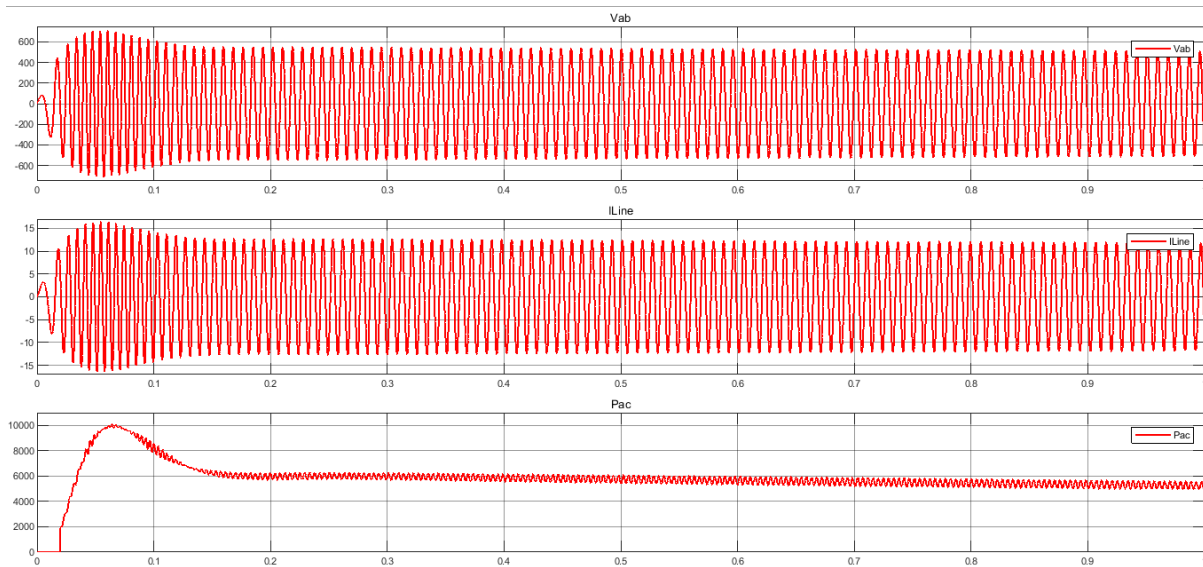


Figure III.19: Tension, courant et énergie produite.

Conversion triphasée en biphasée (courant continu)

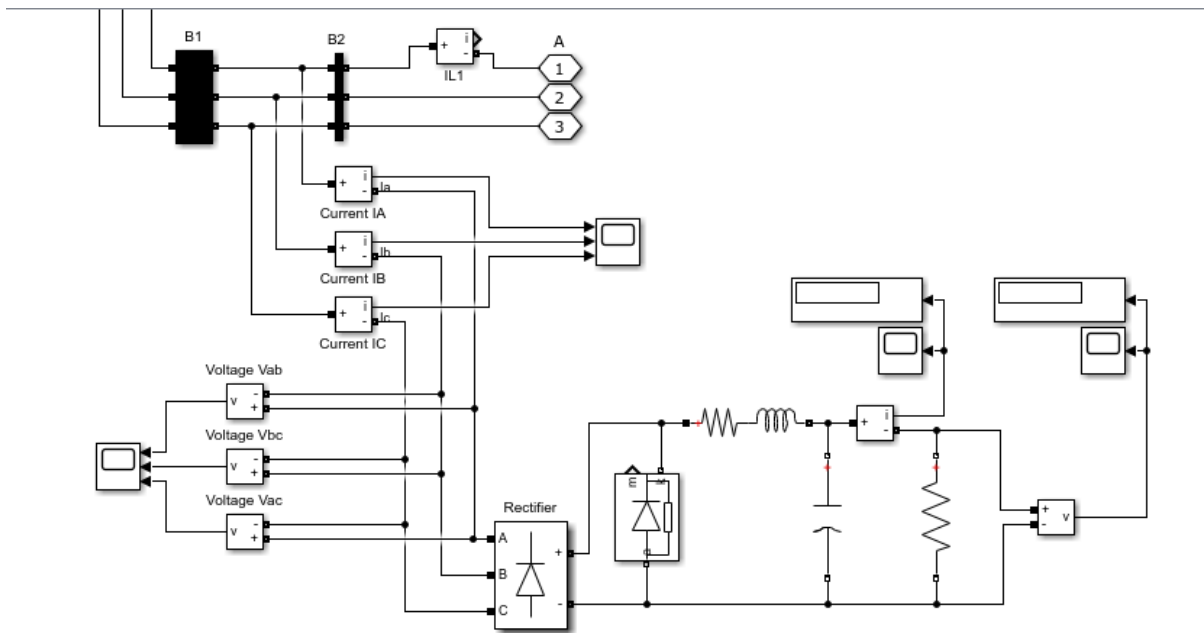


Figure III.20: Schéma bloc de Conversion triphasée en biphasée avec simulink.

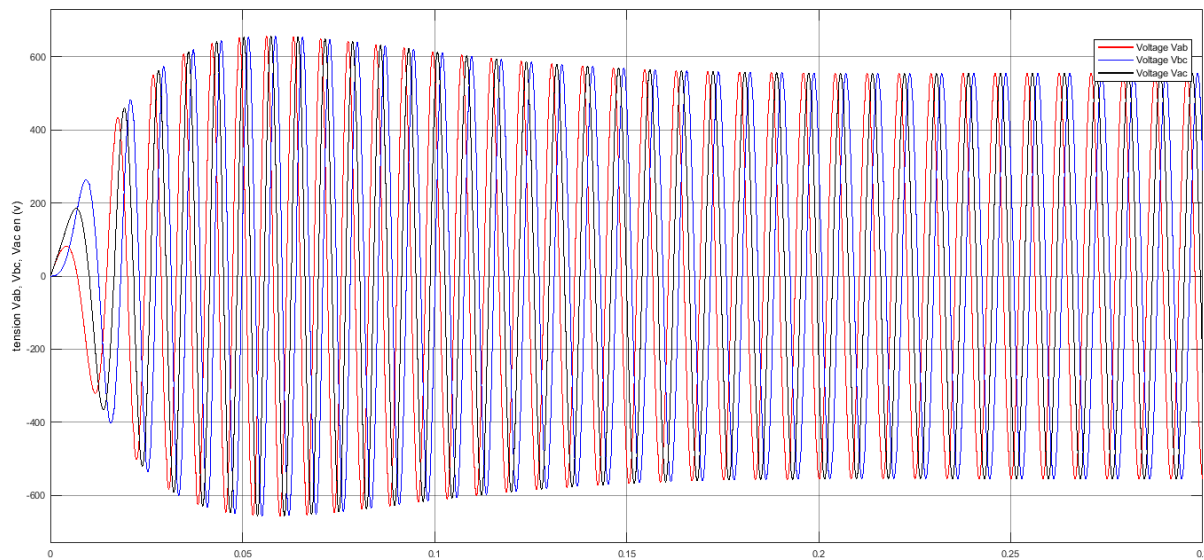


Figure III.21: La forme des tensions provenant du générateur.

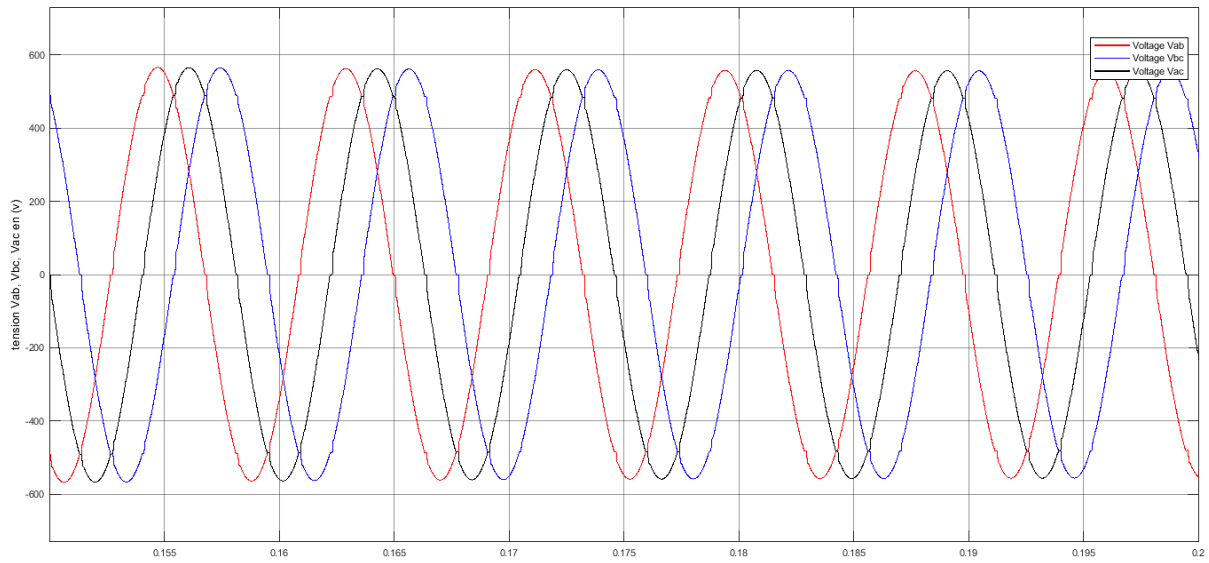


Figure III.22: Zoom sur les tensions provenant du générateur.

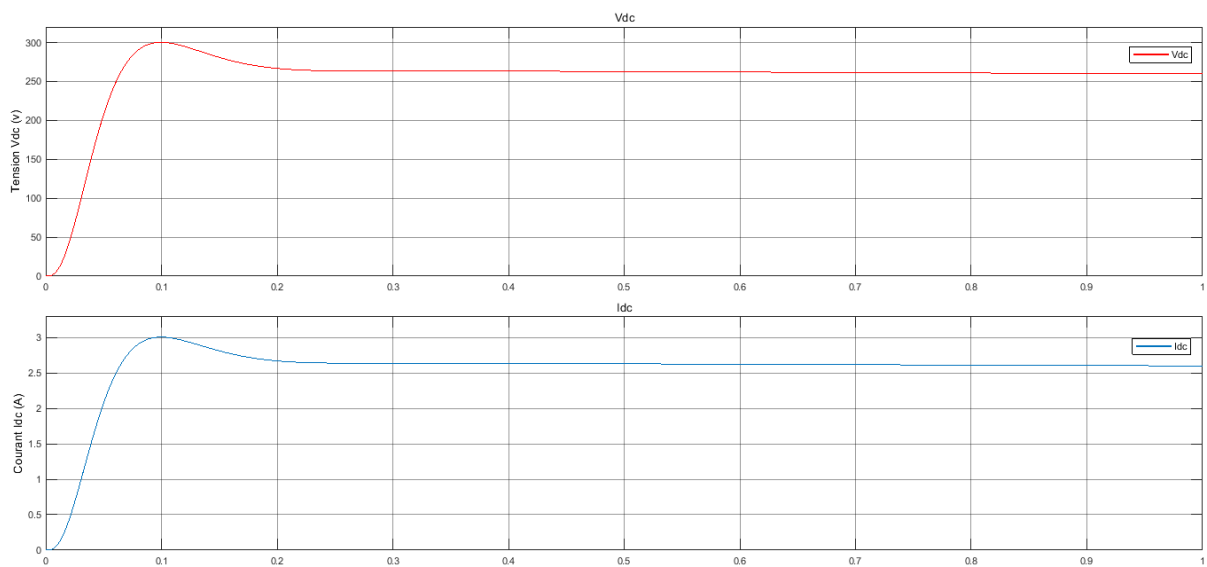


Figure III.23: Tension et courant du bus continu.

Régulateur de tension linéaire

Cet exemple illustre un circuit régulateur de tension simple, La sortie de tension du régulateur est réglée à

$$V_{OUT} = 3.2 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

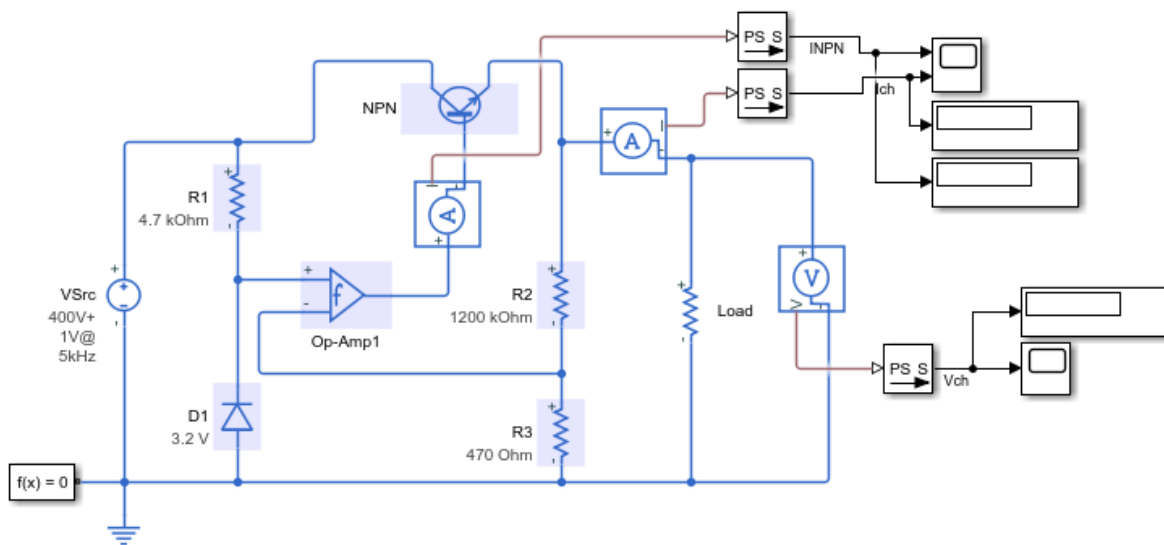


Figure III.24: Un circuit régulateur de tension simple est construit à partir de composants séparés (discrets).

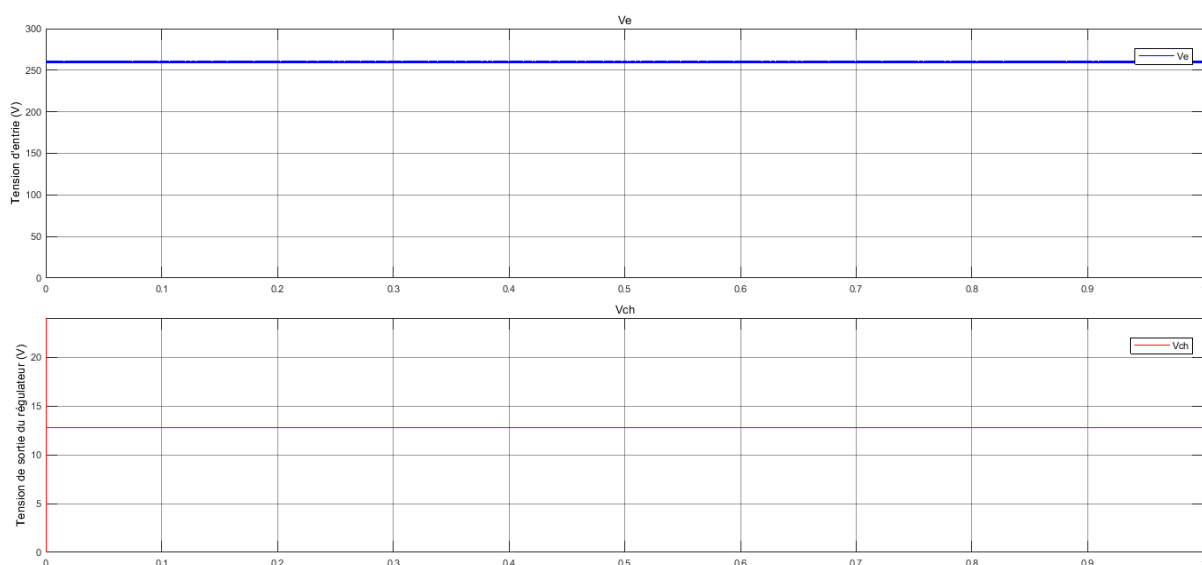


Figure III.25: Tension du régulateur (Ve Input et Vch Output)

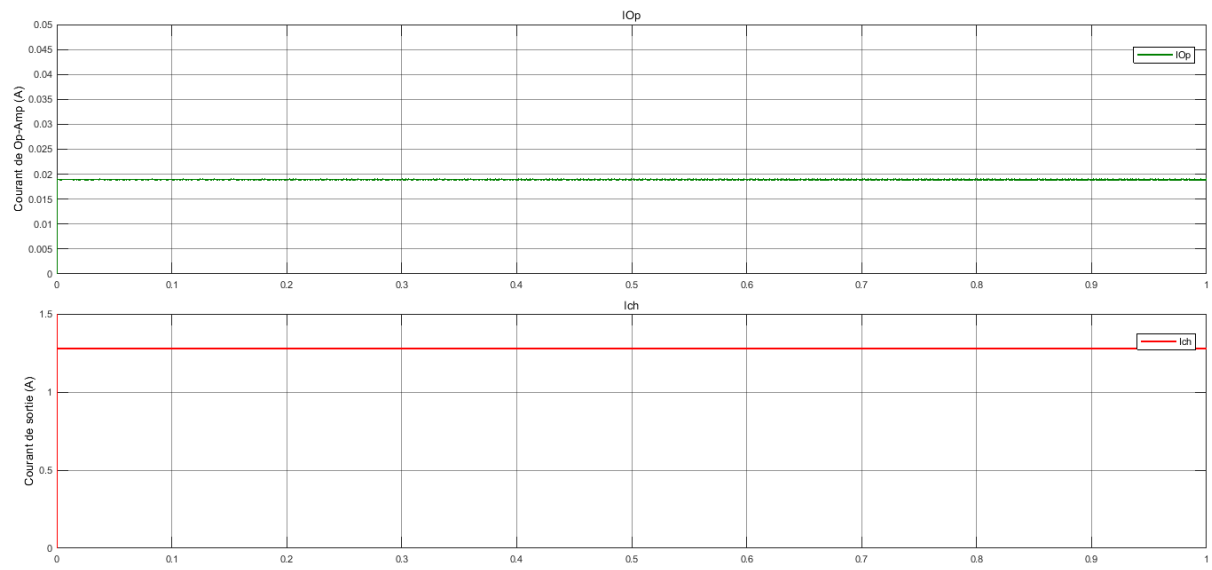


Figure III.26: Courants de régulateur.

III.3.2. Interprétations

Le tableau suivant présente les résultats de la simulation à une vitesse du vent de 12 m / s :

	$\beta(\text{deg}^\circ)$	$C_p(\lambda)$	$T_m(\text{N.m})$	$T_e(\text{N.m})$	$W_m(\text{rad/s})$	$V_{ab}(\text{V})$	V_{ab_eff}	$I_L(\text{A})$	I_{L_eff}	$W_p(\text{w})$
valeur	0	0.4799	42.08	41.9	151.6	494.5	394.8	12.89	8.983	6143

Tableau III.2: Résultats des valeurs mesurées du modèle mathématique.

_ La Figure (III.12) représente la tension de la génératrice ; on remarque que l'augmentation de la vitesse du vent se traduit par l'augmentation de la tension et la même pour le courant (Fig III.13). Plus la vitesse du vent est élevée, plus la tension du générateur est élevée.

_ On peut déduire de l'observation précédente qu'il est nécessaire d'atteindre des endroits où la vitesse du vent est importante pour extraire le maximum d'énergie possible.

_ D'après la figure (III.8), les couple électromagnétique et mécanique ils croient d'une façon exponentielle jusqu'à ils se stabilisent respectivement en régimes totalement établis (stationnaires) à $t=0.22$ s.

_ Le couple mécanique de l'éolienne est renvoyé, en standard, en **pu** au couple nominal du générateur. Le couple nominal du générateur dépend de la puissance nominale et de la vitesse du générateur (Fig III.1).

_ D'après la figure III .17, on peut dire que l'on ne peut pas considérer l'énergie réactive car sa valeur est très faible (dans les limites de zéro). Quant à l'énergie active, sa valeur est égale à 6245 watts.

_ Tous les résultats obtenus ont atteint que la puissance électrique affichée est très affectée par l'angle de calage, est également possible de contrôler la vitesse de la turbine à travers elle.

_ Notez sur la figure III.23 que la tension est devenue relativement constante (à $t=0.2$ s) avec quelques petites ondulations. (Ce bruit peut être éliminé avec un filtre très fin (précis))

_ Un transistor bipolaire NPN est nécessaire pour fournir des courants plus élevés Parce que le courant à la sortie est faible.

_ Sur la figure III.25, Quelle que soit la variation de la tension d'entrée, la tension de sortie reste constante et régulière.

	IDC (A)	VDC (V)	IOP (A)	Inpn=Ich (A)	Vch (V)
Valeur	2.597	259.7	0.01892	1.277	12.77

Tableau III.3: Valeurs de tension et de courant aux niveaux de conversion et de régulation de tension.

III.4. Manipulation

La première étape : calculer l'énergie extraite au cours des différentes saisons

Dans cette partie, nous allons mener une expérience dans laquelle nous calculons la capacité d'une turbine à charger des téléphones (ou PC), c'est-à-dire combien de téléphones une turbine peut charger. Bien sûr, plus les téléphones sont chargés, plus la turbine est efficace.

Ce tableau affiche les données de vitesse du vent pour 7 jours par mois, pendant la saison (Sep2019-Juin2020) pour généraliser cette expérience tirée du site meteoblue. [43]

les jours	17	18	19	20	21	22	23	Vitesse moyenne (m/s)
Septembre	2	4.5	2	1.5	5.5	8	2	4
Décembre	12.5	3	6	6.5	9	12	10	8.4
Mars	5.5	5.5	6	8	4	3	5.5	5.4
Juin	1	3	6	2.5	3	4	6	3.6

Tableau III.4: Données sur la vitesse du vent pendant 7 jours.

Les tableaux suivants montrent la puissance produite par les turbines par **heure**, et je montre également les valeurs des vitesses du rotor, la tension et le courant efficace.

Il existe des vitesses pour les vents minimum, maximum et moyen.

	vitesse du rotor W_m (rad/s)	V_{ab-rms} (v)	I_{L-rms} (A)	W_p (w)
À vitesse max	140.6	378.1	8.725	5714
À vitesse min	138.3	349.3	8.305	5025
À vitesse moyenne	136.9	351.5	8.392	5110

Tableau III.5: Valeurs électriques mesurées pour septembre.

	vitesse du rotor W_m (rad/s)	V_{ab-rms} (v)	I_{L-rms} (A)	W_p (w)
vitesse max	153.1	403.9	9.243	6466
vitesse min	137.4	356.7	8.017	4953
vitesse moyenne	141.5	370.5	8.278	5313

Tableau III.6: Valeurs électriques mesurées pour décembre.

	vitesse du rotor W_m (rad/s)	V_{ab-rms} (v)	I_{L-rms} (A)	W_p (w)
vitesse max	140.6	378.1	8.725	5714
vitesse min	137.4	356.7	8.017	4953
vitesse moyenne	137.1	348.5	8.311	5017

Tableau III.7: Valeurs électriques mesurées pour mars.

	vitesse du rotor W_m (rad/s)	V_{ab-rms} (v)	I_{L-rms} (A)	W_p (w)
vitesse max	137.5	355.6	8.011	4934
vitesse min	138.5	350	8.1	4910
vitesse moyenne	137.1	346	8.206	4918

Tableau III.8: Valeurs électriques mesurées pour le mois de juin.

Deuxième étape : comptez le nombre de téléphones (qui peuvent être chargés)

La « capacité » des batteries des derniers Smartphones atteint environ 10 Wh en moyenne.

Cela veut dire théoriquement qu'il recharge la batterie de 10 Wh en une heure environ

$$10W \times 1h = 10Wh$$

Nous allons diviser la puissance de la turbine par la puissance du téléphone $NB = \frac{W_p}{10}$

Le tableau suivant indique le nombre de téléphones chargés au cours des différentes saisons.

Où l'intervalle indique le nombre le plus petit et le plus grand que nous pouvons facturer et le nombre moyen.

Mois	Septembre	Décembre	Mars	Juin
Intervalle [min-max]	[502-571]	[495-646]	[495-571]	[491-493]
NB moyenne	511	531	501	492

Tableau III.9: Le nombre de téléphones chargés, selon la puissance.

A travers ces résultats, on voit que l'utilisation optimale de la turbine se situe dans la période de décembre (lorsque la vitesse du vent dépasse 10 mètres / seconde), le nombre moyen de téléphones chargés est de 500, et c'est un bon nombre.

En conclusion : la turbine est efficace pour charger les appareils, c'est ce que nous avons réalisé (vérifié) dans cette expérience.

III.5. Conclusion

L'objectif principal de ce dernier chapitre est de simuler une éolienne basée sur une machine synchrone à aimants permanents, il y a deux parties importantes d'une éolienne: la turbine et le GSAP.

Le modèle PMSG et Turbin est intégré dans MATLAB Simulink.

Pour ce faire, j'ai lancé une simulation dans Matlab montrant quelques résultats pour valider le schéma mathématique d'une éolienne.

Notre deuxième étape a été de faire une étude numérique représentée par le comptage de la vitesse du vent au cours des saisons, ce qui nous a permis d'effectuer une manipulation (on charge des téléphones par exemple) dans lequel on démontre la capacité d'une éolienne à produire de l'électricité, et connaissons le moment le plus approprié pour utiliser ces turbines.

En d'autres termes, cette simulation a surtout permis de Démontrer la validité des résultats et l'efficacité de la turbine sous les conditions de fonctionnement réel de l'éolienne.

Conclusion générale

Le but de ce travail est de concevoir un chargeur de batterie 12 volts pour chargé des Smartphone Ou divers appareils en général à partir d'un système éolienne.

Ce travail est principalement basé sur trois chapitres.

Le premier chapitre traite des généralités sur l'énergie éolienne ainsi que les différents types d'éoliennes, En suite on a passé au principe du fonctionnement des éoliennes et de l'exploitation mondiale de cette énergie.

Les réalisations dans le domaine de l'énergie éolienne en Algérie sont très limitées par rapport au développement mondial actuel dans ce domaine.

Chapitre deux, présenté comme suit:

- Nous avons traité les lois de base qui permettent à l'énergie éolienne d'être convertie en énergie électrique.
- Ensuite, la comparaison entre les différents générateurs utilisés dans ce domaine nous a permis de choisir un système basé sur une machine synchrone à aimants permanents **GSAP**.
- Nous avons donné la structure de la chaîne de conversion éolienne, puis un modèle mathématique de chaque élément a été présenté.

Au chapitre 3, nous avons simulé une chaîne de transmission d'énergie éolienne composée d'une turbine de puissance de 8,5 kW reliée à un générateur à aimant permanent synchrone à l'aide de MATLAB Simulink, puis effectué une manipulation montrant le rendement de la turbine.

Finalement, nous concluons que le choix de l'emplacement des éoliennes à axe horizontal dans les zones à vent fort est plus bénéfique (contrairement aux éoliennes à axe vertical), leur démarrage est facile et avec une bonne efficacité.

Pour installer une éolienne, il faut d'abord connaître les critères de sélection: l'environnement, sa puissance, son efficacité.

Bibliographie & Webographie :

- [1] : l'énergie éolienne < <https://sites.google.com/site/lenergieeoliennedm/home>>
- [2] : Eolienne horizontale pour particulier - < <https://eolienne.ooreka.fr/comprendre/eolienne-horizontale>>
- [3] : doc_num.php - < https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=261>
- [4] : L'énergie éolienne exploitée particulièrement en Languedoc-Roussillon -
< <http://eoliennelr.e-monsite.com/> >
- [5] : Du vent à l'énergie électrique - < <http://tpe2lcl.e-monsite.com/> >
- [6] : Généralités sur les éoliennes - ie.ucv.ro -
<<http://www.ie.ucv.ro/eLEE/EN/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereEolienne/Generalites/Generalites/GeneralitesEolien.htm>>
- [7] : <http://tpe-si-2011.e-monsite.com>
- [8] : (PDF) L'étude du potentiel d'installation offshore des parcs éoliens sur la méditerranée, cas du site (Tétouan-Al Hoceima) | LAMKOUTAR Oumayma - academia.edu - < <https://www.academia.edu> >
- [9] : (PDF) Modélisation et simulation des différents aérogénérateurs éoliens | youcef djeriri - academia.edu - < <https://www.academia.edu>>
- [10] : (Source : <http://www.sizilien-sicily-sicilia.de/Energie-uk.htm>)
- [11] : (Source : <http://valromeysolidaire.free.fr/index/main.php3>)
- [12] : (Source : http://www.apab.org/fr/page.php?id_rubrique=3&id_sous_rubrique=23)
- [13] : (Source:<http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/agengin/g01981.htm>)
- [14] : (Source : <http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/agengin/g01981.htm>)
- [Tab] : Sources : 1990-2017 : Agence internationale de l'énergie⁴⁹ ; 2018 : AIE pour l'OCDE, BP⁵⁰ pour le reste du monde.
- Graph [15] : Source : Agence internationale de l'énergie⁴⁹ ; 2018 : EurObserv'ER, Energy Information Administration et BP
- [PDF] « [United States – Wind Resource Map](#) » [[archive](#)], département de l'Énergie des États-Unis (consulté le 6 juin 2009)

[16] : source. S.M. Boudia. Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, 2013.

[17] : <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/res/lacour1a.jpg>

[18] : Types-usb.svg

[19] : DJERIRI YOUCEF «Commande de directe du couple et des puissances d'une MADA associée à un système éolien par les techniques de l'intelligence artificielle» Thèse de Doctorat en Electrotechnique, Université Djilali liabes, sidi bel-abbès, Novembre 2015

[20] : Générateur électrique - Wiki Eolienne < <https://eolienne.f4jr.org>>

[21] : «Contribution à la commande d'un système éolien basé sur une MADA Par différentes techniques» | < <https://www.univ-eloued.dz>>

[22] : Étude théorique d'une éolienne < <https://eolienne.f4jr.org>>

[23] : (PDF) « Analyse des performances d'éoliennes sur un Banc d'essai ; Simulation sous ANSYS et SolidWorks » | BENYAHIA OUAHIBA

[24] : (PDF) «COMMANDE D'UNE GENERATRICE POUR ENERGIE EOLIENNE» | Mr HOCINI Yacine

[25] : (PDF) « Etude et Simulation d'une éolienne à base d'une Machine Asynchrone Doublement Alimentée » UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA, juin 2017

[26] : (PDF) « *Modélisation et étude d'un système d'énergie éolienne relié au réseau* » | Ziraoui Salah Eddine

[27] : < https://www.researchgate.net/figure/Tube-de-courant-autour-dune-eolienne-11_fig20_324929383 >

[28] : source: <https://www.orange-marine.com/eoliennes/1602-eolienne-marine-504-12-v.html>

[29] : <http://www.eleccurrent.com/2016/06/brushless-dc-motor-bldcm.html>

[30] : (PDF) « Moteurs brushless : La technique »

[31] : <http://www.eleccurrent.com/2016/06/brushless-dc-motor-bldcm.html>

[32] : https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor


[33] : <https://www.electronicbub.com/%d8%b9%d9%86-lm317-%d9%85%d9%86%d8%b8%d9%85-%d8%a7%d9%84%d8%ac%d9%87%d8%af-%d8%a7%d9%84%d9%82%d8%a7%d8%a8%d9%84-%d9%84%d9%84%d8%aa%d8%b9%d8%af%d9%8a%d9%84/>

- [34] : <https://www.electronics212.com/2020/02/integrated-circuits-manual.html>
- [35]: LM317 3-Terminal Adjustable Regulator < <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>>
- [36] : Type des batteries - <<http://mawdoo3.com>>
- [37] : <https://i.judsonconcept.com/img/avtomobili/300/diagnostika-akkumulyatora-avtomobilya-obsluzhivanie-i-vosstanovlenie-avtomobilnih-akkumulyatorov.jpg>
- [38] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hacheur_\(%C3%A9lectronique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hacheur_(%C3%A9lectronique))
- [39] : (PDF) «Hacheur» <http://www.electrocouffigna.site.ac-strasbourg.fr/site-php/cours2007/hacheur-cours.pdf>
- [40] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_Boost
- [41] : (PDF) «Modélisation du moteur synchrone à aimants permanents» <http://thesis.univ-biskra.dz/2270/3/chapitre1.pdf>
- [42] : <http://docplayer.fr/22763423-Identification-des-parametres-d-une-machine-synchrone-a-aimant-permanent-en-vue-d-une-integration-dans-des-simulateurs-en-temps-reel.html>
- [43]:https://www.meteoblue.com/ar/weather/historyclimate/weatherarchive/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1_2507480

ANNEXE A

Les datasheet

Détails de LM317T



**TEXAS
INSTRUMENTS**

LM317

SLV5044Y – SEPTEMBER 1987 – REVISED APRIL 2020

LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

1 Features

- Output voltage range adjustable from 1.25 V to 37 V
- Output current greater than 1.5 A
- Internal short-circuit current limiting
- Thermal overload protection
- Output safe-area compensation

2 Applications

- ATCA solutions
- DLP: 3D biometrics, hyperspectral imaging, optical networking, and spectroscopy
- DVR and DVS
- Desktop PCs
- Digital signage and still cameras
- ECG electrocardiograms
- EV HEV chargers: levels 1, 2, and 3
- Electronic shelf labels
- Energy harvesting
- Ethernet switches
- Femto base stations
- Fingerprint and Iris biometrics
- HVAC: heating, ventilating, and air conditioning
- High-speed data acquisition and generation
- Hydraulic valves
- IP phones: wired and wireless
- Intelligent occupancy sensing
- Motor controls: brushed DC, brushless DC, low-voltage, permanent magnet, and stepper motors
- Point-to-point microwave backhauls
- Power bank solutions
- Power line communication modems
- Power over ethernet (PoE)
- Power quality meters
- Power substation controls
- Private branch exchanges (PBX)
- Programmable logic controllers
- RFID readers
- Refrigerators
- Signal or waveform generators
- Software-defined radios (SDR)
- Washing machines: high-end and low-end
- X-rays: baggage scanners, medical, and dental

3 Description

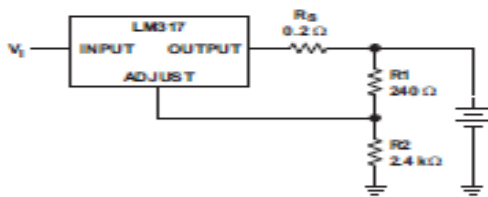
The LM317 device is an adjustable three-terminal positive-voltage regulator capable of supplying more than 1.5 A over an output-voltage range of 1.25 V to 37 V. It requires only two external resistors to set the output voltage. The device features a typical line regulation of 0.01% and typical load regulation of 0.1%. It includes current limiting, thermal overload protection, and safe operating area protection. Overload protection remains functional even if the ADJUST terminal is disconnected.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM317DCY	SOT-223 (4)	6.50 mm × 3.50 mm
LM317KCS	TO-220 (3)	10.16 mm × 9.15 mm
LM317KCT	TO-220 (3)	10.16 mm × 8.59 mm
LM317KTT	TO-263 (3)	10.16 mm × 9.01 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Battery-Charger Circuit



Eolienne 5kW PERFEO-5000

Fiche technique

Puissance nominale	5 kW
Puissance maximale	6 kW
Tension de sortie	240 V DC
Aérogénérateur	Génératrice Synchrone Alternateur triphasé à aimants permanents
Vitesse de démarrage	3 m/s
Vitesse nominale de la génératrice	10 m/s
Vitesse maximale (avant mise en protection)	16 m/s
Vitesse optimale du rotor	200 tours/min
Diamètre du rotor	6,40 m
Frein du rotor	Frein électrique manuel
Nombre de pales	3
Matériau des pales	Fibre de verre renforcée
Poids de la nacelle avec les pales	416 kg
Réducteur de transmission	Non, transmission directe
Orientation de la génératrice	Automatique et progressif par détection de la vitesse et de l'orientation du vent
Protection ouragan	Automatique
Tailles de mât	11 m
Types de mât	Tubulaire haubané ou conique autoporteur
Onduleur	Tension sinusoïdale monophasée 230 V AC 50 Hz ou triphasée 400 V AC 50 Hz
Production annuelle moyenne	7 500 kWh

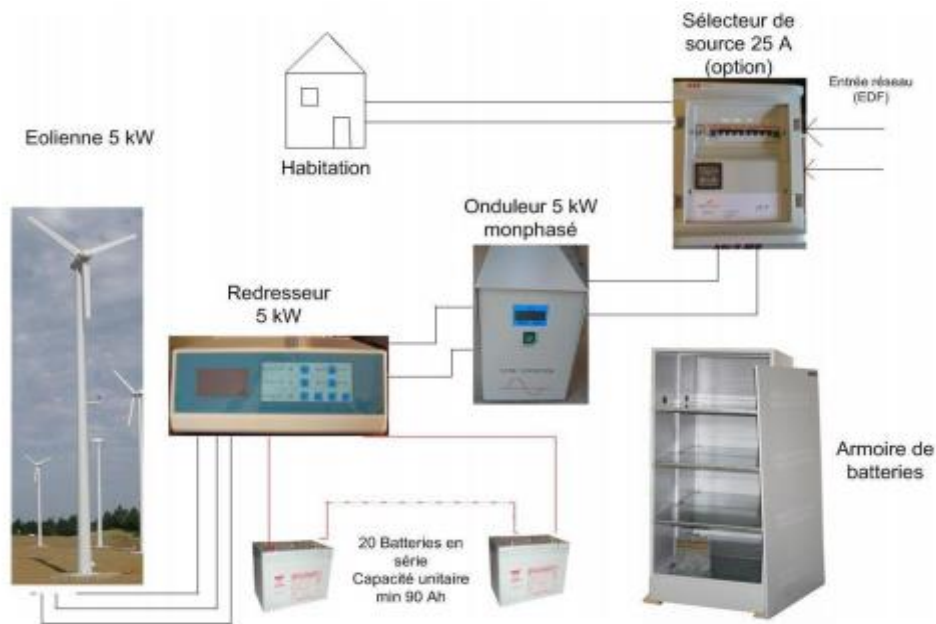


Eolienne de 5 kW sur mât tubulaire haubané 11m

Description

Pouvant être placée à une hauteur inférieure à 12 m, la PERFEO-5000 ne nécessite aucune autorisation préalable à sa mise en service. Elle peut être raccordée à votre habitation et à la fois au réseau électrique pour réaliser une double économie (réduction des factures d'électricité et revente du surplus). La PERFEO-5000 convient également à une habitation isolée non raccordée au réseau, et permet d'assurer une quasi autonomie domestique grâce à son un raccordement sur batteries.

Schéma de connexion en autoconsommation



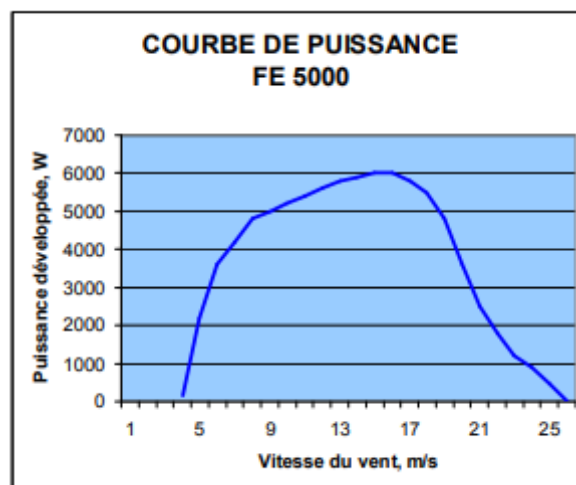
Une tension triphasée d'amplitude et de fréquence variable sort de l'éolienne (la génératrice de 5kW).

Le redresseur transforme cette tension en courant continu stocké sur batteries.

Les batteries sont placées en série dans une armoire de batteries.

Cette tension est transformée en tension alternative 230 V AC monophasé par l'onduleur 5 kW, c'est l'électricité utilisée pour les appareils électroménagers courants dans une habitation. Il est également possible en option de transformer la tension continue en tension triphasée 400 V AC pour être raccordé sur les installations électriques en triphasé.

Le sélecteur de source 25A permet de basculer l'alimentation d'une maison entre deux sources d'électricité : l'électricité de l'éolienne ou l'électricité du fournisseur d'électricité. Ce basculement entre deux sources d'électricité se fait automatiquement en fonction du taux de charge des batteries.



ANNEXE B

Les sous-systèmes des différents blocs développés sous MATLAB :

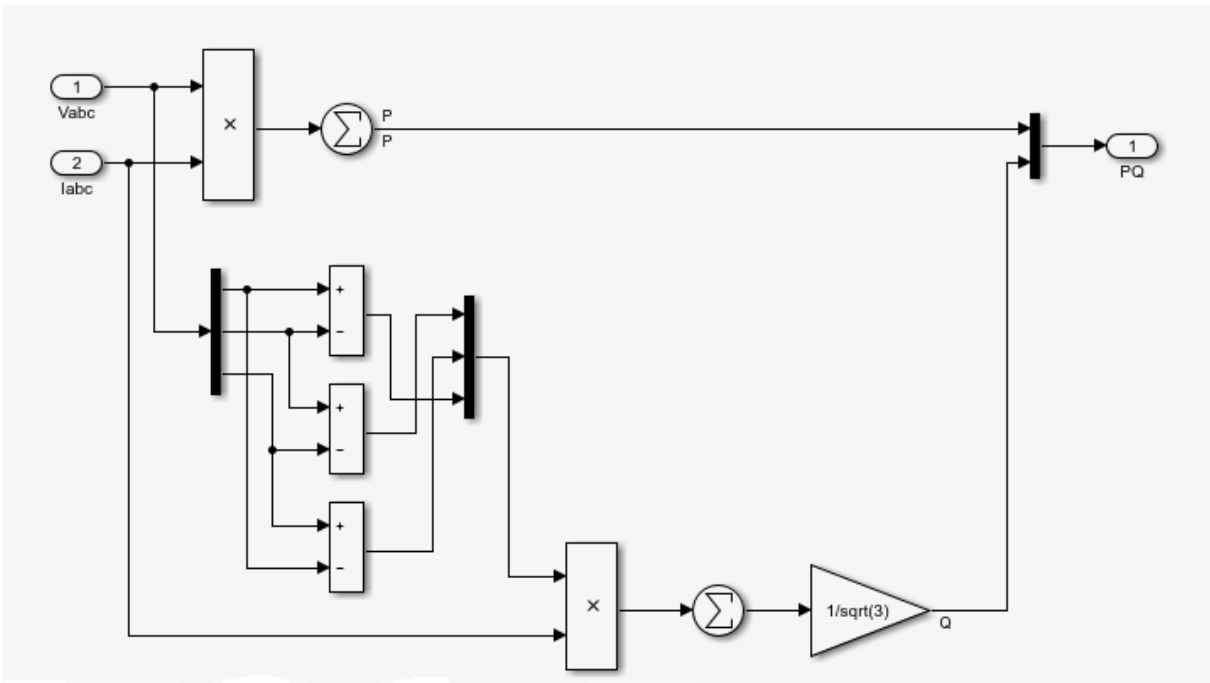


Figure B.1: Blocs sous-système de Puissance active et réactive instantanée triphasée.

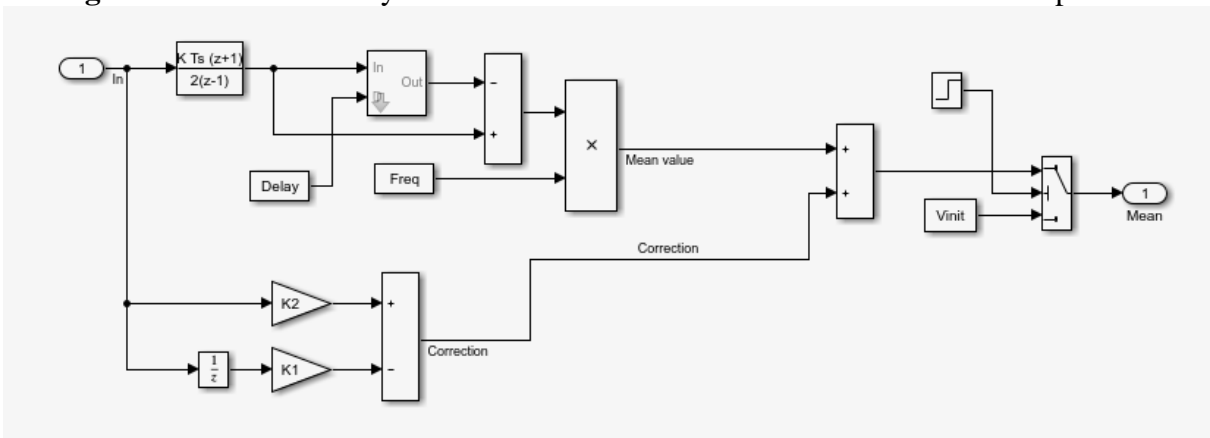


Figure B.2: Blocs sous-système de valeur moyenne discrète.

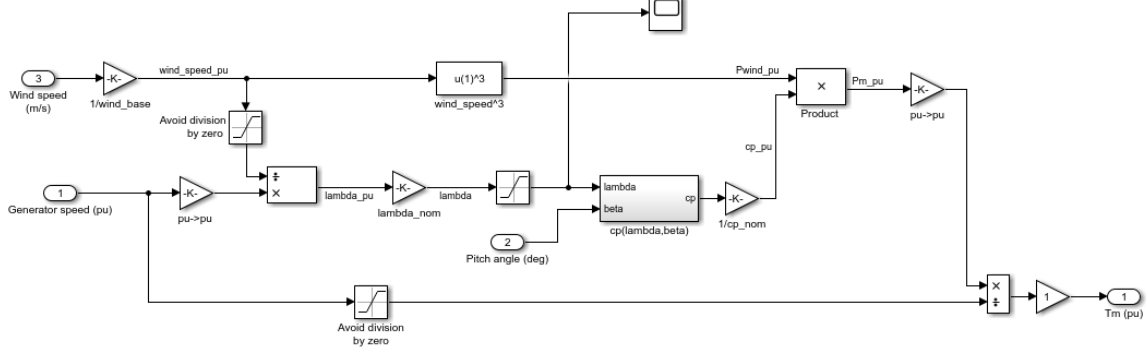


Figure B.3: Blocs sous-système du Modèle d'éolienne.

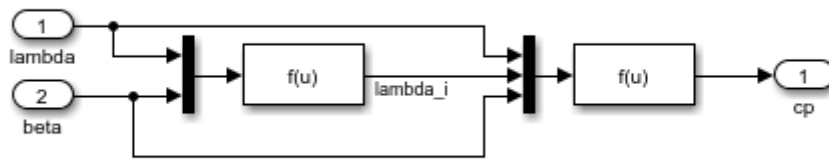


Figure B.4: Blocs sous-système du Cp (lambda, bêta).

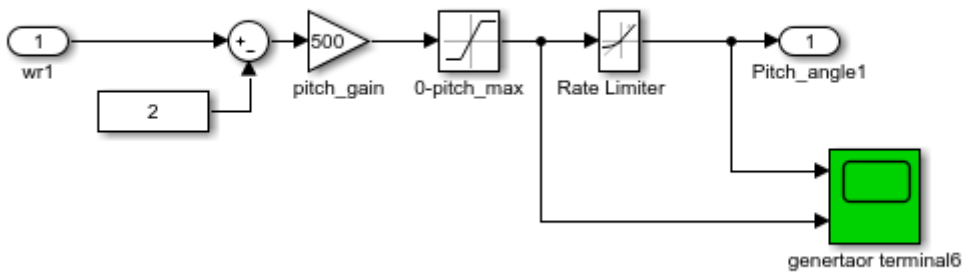


Figure B.5: Blocs sous-système du Pitch angle-Controller.

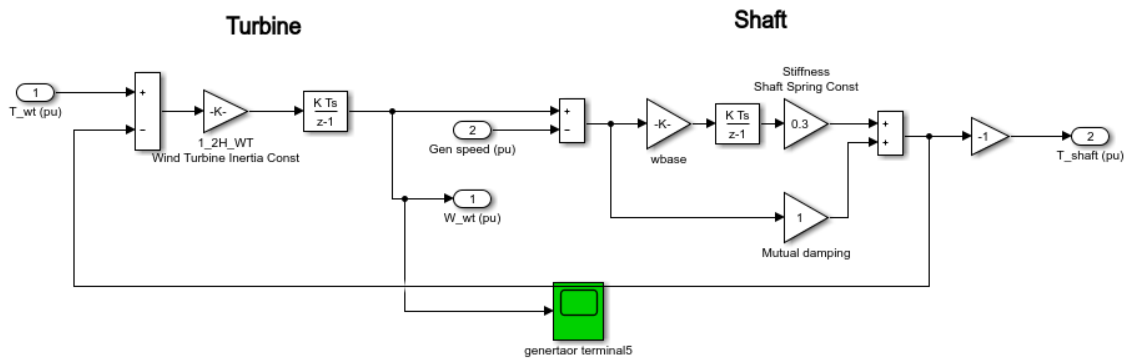


Figure B.6: Blocs sous-système de groupe motopropulseur d'éolienne basé sur un modèle à 2 masses.

ANNEXE C

Les Paramètres

TABLEAU C.1 : Valeurs des paramètres (électriques et mécaniques)

Modèle d'éolienne :

Signification	Valeur numérique du paramètre
- Puissance de sortie mécanique nominale (W)	8500
- Puissance de base du générateur électrique (VA)	8500/0.9
- Vitesse du vent de base (m / s)	12
- Puissance maximale à la vitesse du vent de base (pu de la puissance mécanique nominale)	0.8
- Vitesse de rotation de base (p.u. de la vitesse de base du générateur)	1
- Angle de pas bêta pour afficher les caractéristiques de puissance de l'éolienne (bêta >= 0) (deg)	0

Les paramètres de la génératrice :

Valeur nominales : 220/380V- 50Hz - N=1450tr/min.

Conditions initiales [wm (rad / s) ia, ib (A)] : [0, 0, 0]

Signification	Valeur numérique du paramètre
- Résistance de phase du stator Rs (ohm)	0.425
- Inductance d'induit (H)	0.000395
- Liaison de flux	0.433
- Inertie J (kg.m ^ 2)	0.01197
- amortissement visqueux F (N.m.s)	0.001189
- frottement statique Tf (N.m)	5