REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie électrique

Option: énergie renouvelable

THEME

MODELISATION ET COMMANDE D'UN SYSTEME DE POMPAGE EOLIENNE AVEC STOCKAGE EN UTILISANT LE REGULATEUR PI_FLOU

Proposé et dirigé par,

Dr: MEDJBER Ahmed

Dr: SKENDER Mohamed Ridha

Préparé et présenté par,

BENSAID Silya

MESSAHEL Mouna

Année Universitaire 2020 - 2021

Remerciements

Tout d'abord nous remercions dieu tout puissant qui nous a gardé en bonne santé afin de faire ce modeste travail et qui nous a permis de vivre ce bonheur.

Tous nos vifs remercîments vont vers notre promotrice Dr Medjber Ahmed pour ses conseils chaleureux, son encadrement, sa disponibilité et son aide précieuse pour réaliser ce modeste travail, pour cela on l'assure de notre sincère gratitude et notre respect le plus profond.

Nous remercions les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre modeste travail.

Merci à toute personne ayant contribué de prés ou de loin à la concrétisation de ce projet.

Dédicace

A ma très chère Mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher Père

Tu as toujours été à mes cotés pour me soutenir et m'encourager Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A khalti fazia

Tu as toujours été à mes coté et l'affection qu'elle m'a donné, leur soutien moral et financier

A mon frère djebran et mes sœur thiziri,sara et hadjila et leurs petites familles.

A l l'âme de ma grand-mère on t a jamais oubliée, ton sourire reste toujours gravé dans nos pensées dans nos pensées, puisse dieu le tout-puissant avoir dans son vaste paradis.

A mon binôme Mouna et sa toute sa famille.

A mes camarades.

Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite. silya

Dédicace

Je dédie cet ouvrage

A ma Maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'étude.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon Père et mon frère Mouhamed et ma petite sœur takwa et ma grande Mère et ceux qui ont partagé avec moi tous les monuments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma Famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité

A mon binôme Silya et sa famille

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhait plus du sucée

A tous ceux que j'aime.

ملخص

يعد استخدام طاقة الرياح مع نظام تخزين وباستعمال الذكاء الاصطناعي في المواقع المعزولة لتطبيقات مختلفة مثل ضخ المياه من الاهتمامات الرئيسية للأشخاص في البلدان النامية الذين لا يحصلون على مياه للشرب

الغرض من هذه المذكرة هو حساب المعلمات من مضخة الطرد المركزي وفقا لعدد قرية صغيرة لتلبية الحاجة الى المياه وبالتالي يتم استخدام مكافحة ناقلات وحدة غاطسة مضخة غير متزامن

مقوم ناقل وعاكس للجهد يغذي الة غير متزامنة مقرونة بمضخة طرد مركزي MSAPيتكون تركيب هذا النظام من توربين

ويضمن تشغيل الطاقة القصوى لنظام التوربينان الهوائية

الكلمات المفتاحية كهر هوىء **MPPT-آلية التحكم –محرك تيار متردد –عاكس كهربائي للتوتر**

Résumé :

L’utilisation de l’énergie éolienne avec stockage en utilisant l’intelligence artifucielle dans les sites isolés pour différentes applications, tel que le pompage d’eau, présente un intérêt primordial pour la population des pays en voie de développement qui n’a pas d'accès sûr à l'eau potable.

L’objectif de ce mémoire est calcul les paramètres d’une pompe centrifuge suivant le nombre d’un petit village pour satisfaire le besoin d’eau. Donc on utilise la commande vectorielle associée à une groupe motopompe asynchrone immergée. La configuration de ce système comporte une turbine éolienne, une MSAP, un redresseur, un bus et un onduleur de tension alimentant une machine asynchrone couplée à une pompe centrifuge. Et un bloc MPPTqui assurer un fonctionnement à puissance maximale du système éolienne.

Mots clés : éolienne, Contrôle **MPPT**, Machine asynchrone, redresseur, Onduleur, machine asynchrone aimant parmant.

Abstract

The use of Wind energy and storage with artificial inteligent in isolated sites for different applications, such as pumping water, is of primary interest to people in developing countries who do not have access to water drinking.

The purpose of this memo is to calculate the parameters of a centrifugal pump according to the number of a small village to satisfy the need for water.

Therefore, the vector control is used for a submersible asynchronous pump unit. The configuration of this system comprises a wind turbine , a msap ,a rectifier , a bus and a voltage inverter feeding an asynchronous machine coupled to a centrifugal pump and ensuring maximum power operation of the wind turbine system.

Keywords: wind turbine, **MPPT** control, rectifier, Inverter et asynchronous machine,

Asynchronous machine aimant parmant.

Introduction General 1

Chapitre I Etat de l'art de système de pompage éolien avec stockage

I.1 Introduction 4

I.2 HISTORIQUE 4

I.3 Définition de l'énergie éolienne 5

I.4 Architecture d'une éolienne 6

I.4.1 Rotor 6

I .4.2 Nacelle 7

I.4.3 Mat 8

I.5 Principe de fonctionnement de l'énergie éolienne 9

I.6 Les déférents types d'éoliennes 9

I.6.1 Les éolienne à axe verticale 9

I.6.2 Les éoliennes à axe horizontale 10

I.7 Application des éoliennes 11

I.8 Les déférents types moteurs utilisés 13

I.8.1 Système utilisant la machine synchrone 13

I.8.2 Systèmes utilisant la machine asynchrone 15

I.9 L'onduleur 16

I.10 Redresseur 16

I.11 Bus à courant continu 17

I.12 Le pompage éolien 18

I.12.1 Le déférent système de pompage 19

I.12.2 Fonctionnement d'une pompe centrifuge 21

I.12.3 Les pompes volumétriques 22

I.13 : stockage de l'énergie 22
I.13.1 : Système de stockage 22
I.13.2 Technologies des systèmes de stockage 23
I.14 Caractéristiques des batteries 25
I.14.1 Capacité nominale 25
I.14.2 Tension d'utilisation 25
I.14.3 Durée de vie et cycle de vie 25
I.14.4 Profondeur de décharge 25
I.14.5 Autodécharge 25
I.14.6 Rendement 26
I.14.6 Etat de charge (EDC) 26
I.15 CONCLUSION 26

Chapitre II modélisation des éléments de système de pompage éolien avec stockage

II.1.Introduction 27
II.3 Modélisation du système 27
II.3.1 Modélisation de la vitesse du vent 27
II.3.2 Modélisation de la turbine éolienne 28
II.3.3 Modélisation de la turbine éolienne 29
II.5 La génératrice synchrone à aimants permanents 30
II.5.1 Modalisation de la MSAP 30
II.6 Modélisation d'un redresseur 34
II.8. Equations électriques et magnétiques de la MAS dans le repère (abc) 37
II.9 Modélisation du stockage 44
Conclusion 45

Chapitre III commande de système de pompage éolien avec stockage

III.1 Introduction 46
III.2 Méthodes de recherche du point maximum de puissance 46
III.3 Commande vectorielle de la MSAP alimentée en tension 48
III.4 Command par logique flou 50
III.5 Découplage 53
III.6 Commande par modulation sinus-triangle 55
III.7 Mise en forme des entrées, normalisation 56
III.8 Fuzzification 56
III.9 Traitement des prémisses composées 56
III. 10 Inférence floue 57
III.11 Agrégation des règles 57
III.12 Défuzzification 57
III.13 Dénormalisation 58
III.14 Les différents types de la commande à base de la logique floue 58
III.15. Système de stockage d'énergie 59
III.16 :Simulation et interprétation des résultat 64
II.17. Interprétation des résultats 69
III.18 Conclusion 70
IV.1 Introduction 71

Chapitre IV Simulation de système de pompage éolien avec stockage

IV.2 Modèle global du système 71
IV.3 Choix de la pompe centrifuge 76

IV.4 Dimensionnement et modélisation du réservoir de stockage d'eau 77

IV.5. Simulation et interprétation des résultats..... 79

IV.6.Interpretation des résultats..... 85

IV.7.Conclusion 86

Conclusion générale..... 88

Liste des figures :

Figure I.1 conversion de l'énergie cinétique de vent

Figure. I.2 : composants d'une éolienne

Figure .I.3 : composition de la nacelle d'une éolienne nordexe.

Figure I.4 : éoliennes à axe horizontale

Figure I.5 : Eolienne à axe vertical

Figure I.6 :éolienne de type Darrieux et Savonius

Figure 1.7 : Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé.

Figure I.8 : Redresseur à diodes.

Figure I.9 : schéma d'une éolienne de pompage d'eau.

Figure I.11. Schéma d'une chaine de conversion d'énergie

Figure. I.12. Classification des technologies de système

Figure II.1. Système globale à étudier.

Figure II.2. Allure de la puissance P.

Figure II.3. Représentation de la MSAP dans le repère (d, q) de Park.

Figure II.4. Circuit équivalent de MSAP –convention moteur.

Figure II.5. Schéma d'un redresseur.

Figure II.6. Schéma électrique de bus continu.

Figure II.7. Onduleur triphasé à deux niveaux.

Figure II.8. Représentation de la machine asynchrone a cage d'écureuil.

Figure II.9.Modèle de Park d'un moteur asynchrone.

Figure III.1. L'allure de la puissance en fonction de la vitesse mécanique pour une déférente variable de vent.

Figure III.2. Schéma bloc de la turbine avec maximisation de la puissance extraite à l'aide d'un asservissement de la vitesse [45].

Figure III.3. Structure de base d'un contrôleur flou.

Figure III.4. Découplage par compensation. Figure III.5. Commander découple.

Figure III.6. Schéma de principe de la MLI sinus_triangle.

Figure.III.13 Modèle équivalent d'une batterie plomb-acide.

Figure III.14. Schéma de bloc d'une batterie.

Figure III.15: Comportement de la batterie lors de la charge.

Figure III.16. Comportement de la batterie lors de la décharge.

Figure III 17 : vitesse mécanique de la MAS

Figure III 18 : vitesse mécanique de la MSAP

Figure III 19 : Flux rotorique (wb)

Figure III 20 : Flux rotorique (wb)

Figure III 21 : Couple électromagnétique de la MAS

Figure III 22: Couple électromagnétique de la MSAP

Figure III 23 : courant Id et IQ

Figure III 24: Courant Id de la MSAP

Figure III 25 : Tension de bus continu

Figure III 26 : Tension de bus continu Vdc

Figure (IV.1): Synoptique du système de pompage global.

Figure(IV.2): Réservoir de stockage d'eau

Figure VI.1:Profile de vitesse du vent Figure VI.2: puissance hydraulique

Figure VI.3 Puissance éolienne

Figure VI.4 puissance batterie

Figure VI.5 puissance hydraulique (w)

Figure VI.6 vitesse mécanique de la MAS

Figure VI.7 Couple électromagnétique

Figure VI.8 courant de phase statorique ids,iqs (PI)

Figure VI.9 courant direct(A)

Figure VI.10 courant direct(A)

Figure VI.11 flux rotorique (wb)

Figure VI.12 flux rotorique (wb)

Figure VI.13 la tension de bus continu Vdc(v)

Figure VI.14 condition éolienne-batterie

Figure VI.15 Soc batterie

Figure VI.16 condition batterie

Figure VI.17 Hauteur de réservoir(m)

Figure VI.18 débit d'eau (m^3/s)

Liste des tableaux

N°du tableau	Titre	p
I.1	antages et inconvénients des différents types d'éoliennes.	12
IV.1	Détermination des besoins en eau journaliers de l'installation de pompage	75
IV.2	Détermination de la hauteur manométrique totale (HMT)	76

List des symbols:

CC	Courant Continu
CA	Curant Alternatif
MSAP	machine synchrone à aimant permanant
MAS	machine asynchrone
HMT	Hauteur Manométrique Totale
V_V	la vitesse du vent (m/s)
P_t	la puissance mécanique de la turbine (Watt)
R	le rayon du rotor éolien (m)
P	la densité de l'air (kg/m3)
C_p	le coefficient de puissance
λ	la vitesse spécifique
β	l'angle de calage
Ω_t	la vitesse de rotation du rotor éolien (rad/s)
C_{em}	Couple électromagnétique (N.m)
C_{eol}	Couple éolienne
$[V_a V_B V_c]^t$	Vecteur tension des phases statoriq
$[ia ib ic]^t$	Vecteur courant des phases statoriques
R_s	Résistance des phases statoriques
V , V_q	Tensions statorique dans le repère de Park (d,q) (V).
P	nombre de paires de pôles
I_d	Courant statorique selon l'axe d
I_q	Courant statorique selon l'axe q
L_d	Inductance statorique selon l'axe d
L_q	Inductance statorique selon l‟axe q
Ψ_f	Flux inducteur
C_m	Couple moteur appliqué sur la génératrice J

j	moment d'inertie total de la machine ($kg.m^2$)
f	Coefficient de frottement visqueux
i_c	Courant circulant dans la capacité
V_{dc}	Tension du bus continu (volt)
C_{dc}	Capacité du bus continu
L_s	Inductance propre d"une phase statorique
L_r	Inductance propre d"une phase rotorique
M_s	Inductance mutuelle entre deux phases de stator
M_r	Inductance mutuelle entre deux phases de rotor
Θ_{sr}	Ecart angulaire entre une phase statorique et la phase rotorique Correspondante
f_m	Coefficient du frottement visqueux
C_r	Couple de charge
Ω_r	Vitesse rotorique du moteur
v_{sd} , v_{sq}	Tension statoriques direct et quadratique
v_{sd} , v_{sq}	Courant statoriques direct et quadratique
φ_{sd} , φ_{sq}	Flux statoriques direct et quadratique
I_{rd} , I_{sq}	Courant rotoriques direct et quadratique
φ_{rd} , φ_{rq}	Flux rotoriques direct et quadratique
Ω_r	Inductance cyclique statorique
Ω_r	Inductance cyclique rotorique
L_r , L_s	Respectivement Inductances de fuite statorique et rotorique
M	Mutuelle inductance
$\frac{d\theta s}{dt} = \omega s$	Pulsation des grandeurs statorique
$\frac{d\theta r}{dt} = \omega s$	Pulsation des grandeurs rotorique
H_g	Hauteur géométrique à l'aspiration

N_p	Nombre moyen des personnes pour chaque famille.
N_f	Nombre de familles de la ferme
Q_p	Consommation moyenne d'eau quotidienne pour une personne
Q_{an}	Quantité moyenne d'eau destinée pour La consommation les animaux du ferme
Q_{irr}	Quantité moyenne d'eau destinée pour l'irrigation de la ferme
ρ	La densité du liquide (pour l'eau =1000 $Kg/m3$)
g	l'accélération de pesanteur (g=9.81m/s^2)
H	hauteur manométrique totale(m)
V	le volume de liquide dans le réservoir (m^3)
S	la surface du réservoir (m^2)

Introduction générale

Introduction General:

L’énergie est l’un des moteurs du développement des sociétés. La civilisation industrielle s’est bâtie autour de l’exploitation du charbon à la fin du 18e siècle, puis du pétrole au milieu du 20e siècle. Depuis le premier choc pétrolier de 1973, les pays industrialisés optent progressivement pour les énergies nouvelles et renouvelables. D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique ; le vent brassant les pales d'une éolienne; la lumière solaire excitant les photopiles; mais aussi l'eau chaude des profondeurs de la terre alimentant des réseaux de chauffage. En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Le solaire, l'éolien, l'eau,…etc. ne rejettent aucune pollution lorsqu'elles produisent de l'énergie.

L’aérogénérateur est basé sur le principe des moulins à vent. Le vent fait tourner les pales qui sont elles-mêmes couplées à un rotor et à une génératrice. Lorsque le vent est suffisamment fort (15 km/h minimum), les pales tournent et entraînent la génératrice qui produit de l'électricité. L’énergie éolienne est aujourd’hui l’énergie propre la moins coûteuse à produire, ce qui explique l’engouement fort pour cette technologie. Les recherches en cours pourraient lui laisser pendant encore de nombreuses années cette confortable avancée.

La multiplication des éoliennes a conduit les chercheurs en Génie Electrique à mener des investigations de façon à améliorer l'efficacité de la conversion électromécanique et la qualité de l'énergie fournie. Dans ce cadre, le présent mémoire décrit une étude sur l'utilisation des machines de type synchrone a aimant permanent dans un système éolien. Le premier chapitre est consacré à des rappels sur les systèmes éoliens à travers les concepts physiques régissant leur fonctionnement. Ces rappels sont suivis par une définition de l’énergie éolienne de manière générale, [01] puis l’évolution des éoliennes durant les dernières décennies [02] [04] [05] [12] [14]. Des statistiques sont données montrant l’évolution de la production et la consommation de l’énergie éolienne dans le monde [03] [06] [07] [15] [16], et les différentes technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal), [10] [11] [13] [19] [20],ainsi que les différents générateurs utilisés dans les systèmes éoliens [08] [09] [16], et les convertisseurs qui leur sont associés.

Dans le deuxième chapitre, nous avons proposé le concept de chaîne éolienne complète. Dans ce chapitre. Nous établissons un modèle de simulation de l'ensemble de la chaîne éolienne en insistant notamment sur le caractère multiphasique (prise en compte des phénomènes mécaniques, magnétiques, électriques) [26].

La modélisation de l'éolienne exige la modélisation du vent, du comportement aérodynamique des pales, du générateur électrique, du convertisseur de puissance lie du système de commande [25]. Ce chapitre est compose de trios parties :

Une première partie est consacrée à la modélisation de la partie mécanique de l'éolienne, et où le modèle du vent et son évolution seront étudiés de façon détaillées, [19-24]

La deuxième partie est consacrée à la modélisation de la machine synchrone à aimant permanent, et on terminera cette partie par une simulation de ces configurations (MSAP et turbine) en fonctionnement générateur [11] [21] [27] [28].

Dans la troisième et dernière partie nous présenterons la modélisation du convertisseur associé, [29-31].

La commande de vitesse de l'aérogénérateur synchrone à aimant permanent, fait l'objet du troisième chapitre. On va commencer par la présentation en premier lieu la technique (MLI vectorielle) [30-33]. Parmi ces techniques numériques, on trouve la modulation vectorielle (ou Space Vector Modulation) qui traite les signaux directement dans le plan diphasé de la transformée nommée de Concordia. La (MLI vectorielle) est certainement la méthode de MLI la mieux adaptée au contrôle des machines à courant alternatif. Puis on va à la commande vectorielle de la génératrice synchrone à aimant permanent, qui présente une solution attractive pour réaliser de meilleures performances dans les applications à vitesse variable [27] [34] [35].

La dernière partie de ce chapitre explique la stratégie à suivre pour commander l'éolienne avec une boucle d'asservissement de vitesse munie d'un régulateur PI permettant d'optimiser l'extraction maximale de l'énergie du vent à travers l'ajustement électronique continu de la vitesse spécifique de la turbine qui conduit à un point optimal à chaque fois que la vitesse de vent varie [10] [36].

Dans le quatrième et dernier chapitre est consacré à la commande de vitesse de l'aérogénérateur synchrone à aimant permanent par un régulateur PI flou, on présentera un aperçu général sur la théorie de la logique floue et ses principes de base [38-42]. Et les bases mathématiques de cette technique et la méthodologie de contrôle. Ensuite, on montrera comment construire un régulateur flou [43], et son application au réglage de vitesse de la MSAP. Des résultats de simulation seront aussi présentés et une comparaison entre le régulateur PI classique et PI flou sera effectuée pour montrer l'amélioration du comportement dynamique de la vitesse de la MSAP. Et nous avons pu injecter la puissance électrique, extraite au réseau via un onduleur de tension triphasé, en régulant la tension du bus continu [44].

Finalement, on terminera ce mémoire par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus et expose quelques perspectives de recherche envisagées.

Chapitre I: Etat de l’art de l’énergie éolien avec stockage

I.1 Introduction :

Les nouvelles énergies renouvelables (1,5 % de la production mondiale)[2]

L'hydraulique est la plus importante et sans doute une des plus anciennes- des énergies renouvelables. Mais d'autres technologies sont utilisées, la biomasse, la géothermie, l'éolien et le solaire. Dans les pays riches, et notamment en Europe, c'est l'énergie éolienne, et dans une moindre mesure le solaire, qui connaît une croissance très forte. A l'origine de ce développement : le volontarisme politique de la Commission européenne et, avant même, de certains Etats membres, notamment de ceux qui présentent les taux les plus élevés en matière d'émissions de gaz à effet de serre (Allemagne, Danemark, Espagne) [3].

L'énergie éolienne est donc l'objet de notre étude vue les principaux avantages de cette énergie qui sont l'autonomie, la possibilité de produire de jour comme de nuit et un impact environnemental réduit par des précautions simples vis à vis de la population et du paysage.

L'eau est une denrée relativement abondante. L'eau potable devient plus difficile à exploiter ... et son coût ne cesse d'augmenter. Ce mouvement ne risque pas de s'arrêter dans la mesure où viennent se greffer encore des coûts de retraitement des eaux usées.

Le vent a été utilisé comme moyen de fournir l'eau pendant des centaines d'années. La tendance de ces dernières années a été d'optimiser le fonctionnement des moulins à vent pour les petites vitesses de vent. Livrer l'eau à des basses vitesses de vent est habituellement plus important que maximiser le volume total d'eau fourni au cours de toute l'année.

En conséquence, la plupart de ces moulins peuvent maintenant commencer à pomper à des vitesses de vent de 2.5 m/s et ils atteignent leur efficacité maximale dans la gamme de vitesse de 4-7 m/s.

I.2 HISTORIQUE

Il y'a 2600 ans, l'homme utilisait déjà l'énergie éolienne pour la convertir en énergie mécanique. Cette application était utilisée pour faire avancer les bateaux, pomper de l'eau ou moudre du grain. La transformation en énergie électrique ne débute qu'au 19ème siècle. Ce n'est véritablement qu'en 1891 que l'on trouve les premiers ancêtres des éoliennes actuelles.

Dans le présent chapitre, les facteurs favorables au développement des énergies renouvelables ainsi que leurs sources de production seront brièvement présentés. Ensuite, les différents types d'éoliennes et les structures des systèmes de conversion de l'énergie éolienne seront particulièrement présentés en détails. Par ailleurs, les avantages et les inconvénients d'un système éolien seront discutés [4].

I.3 Définition de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne désigne l'énergie cinétique véhiculée par les masses d'air, c'est-à-dire par les vents, autour de notre planète.

C'est une d'une énergie renouvelable de plus en plus utilisée pour produire une électricité verte à grande échelle. Elle est une source d'énergie qui dépend du vent, en effet, le soleil chauffe différemment la terre, ce qui crée des zones de températures et de pression atmosphérique différentes tout autour du globe, de ces différences de pression naissent des mouvements d'air, appelés vent [4][5].

Cette énergie permet, grâce à la force du vent, de produire de l'électricité en faisant recours aux éoliennes appelées aussi aérogénérateurs.

L'électricité produite peut être transformée et utilisée à plusieurs fins. Le principe de la production à base d'éoliennes s'articule essentiellement autour de:

-La transformation en énergie mécanique

Le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (voilier ou char à voile), pour pomper de l'eau (éoliennes de pompage pour irriguer ou abreuver le bétail) ou pour faire tourner la turbine éolienne [4].

- La production de l'énergie électrique :

La turbine éolienne entraine un générateur électrique pour produire du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne au sein d'un système « autonome » avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène), un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie [4][5].

UNE éolienne est parfois qualifiée d'aérogénérateur dès lors qu'elle produit de l'électricité.

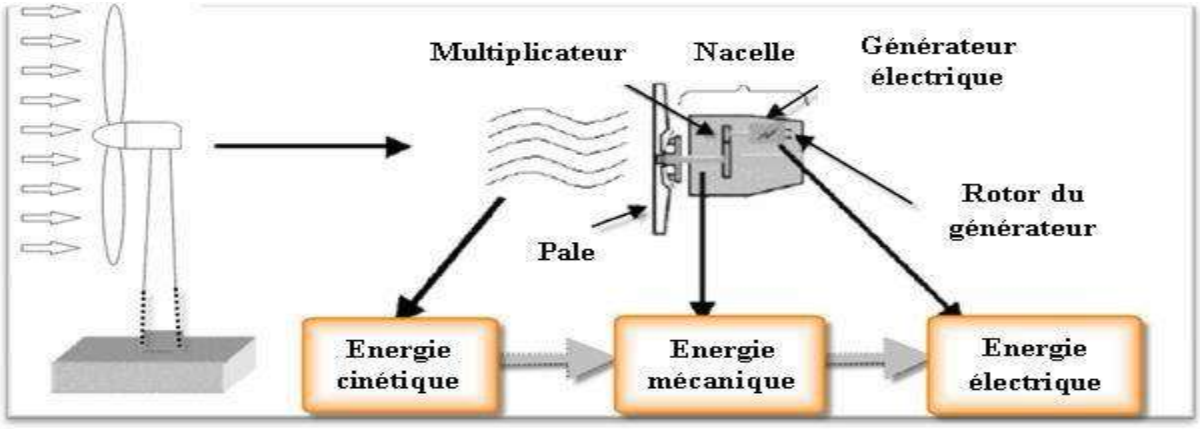


Figure I.1 conversion de l'énergie cinétique de vent

I.4 Architecture d'une éolienne;

On peut considérer trois composants essentiels dans une éolienne, le rotor, la nacelle et le mat, (Voir Figure (I.2) ;



Figure. I.2 composants d'une éolienne

I.4.1 Rotor ;

Le rotor, partie rotative de l'éolienne piacée en hauteur afin de capter des vents forts et réguliers.

Il est composé de pale (en général 3) en matériau composite qui sont mises en mouvement par l'énergie cinétique du vent.

Et aussi on peut dire le rotor C'est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique.

Le rotor est un ensemble constitué de pales et de l'arbre primaire, la liaison entre ces éléments étant assurée par le moyeu.

Sur certaines machines, l'arbre primaire qui tourne à faible vitesse comporte un dispositif permettant de faire passer des conduites hydrauliques entre la nacelle (repère fixe) et le moyeu (repère tournant). Cette installation hydraulique est notamment utilisée pour la régulation du fonctionnement de la machine (pas des pales variables, freinage du rotor…)

I .4.2 Nacelle ;

Elle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique :

les arbres lent et rapide, le multiplicateur de vitesse, le frein qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge, le générateur qui est en général synchrone ou asynchrone et les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pâles (frein aérodynamique) et de la nacelle (nécessaire pour garder la surface balayée par l'aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent).[5] Les différents composants de la nacelle sont[6] ;

-Le multiplicateur de vitesse :

il élève la vitesse de rotation de l'arbre primaire à celle de l'arbre secondaire entrainant la génératrice.

- L'arbre secondaire : il contient généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter le déchaînement de la machine.

-**La génératrice** : elle convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

-Un contrôleur électronique chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne. Il s'agit d'un ordinateur qui peut contrôler le démarrage de la machine lorsque la vitesse du vent est de l'ordre

de 5m/s, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble rotor et nacelle face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie. Pour mener à bien ces tâches, le contrôleur utilise un anémomètre qui mesure la vitesse du vent et une girouette qui détecte la direction du vent, et ils sont situés habituellement à l'arrière de la nacelle.

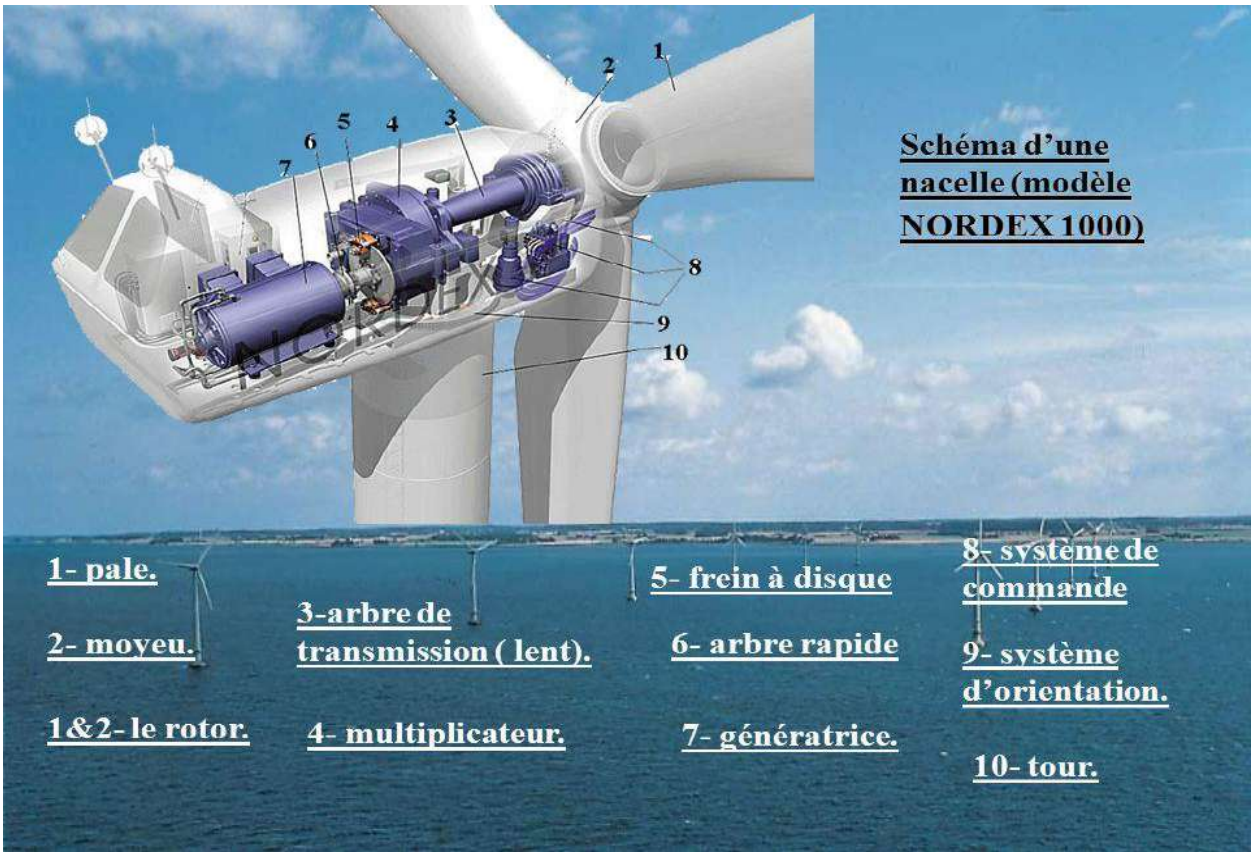


Figure .I.3 composition de la nacelle d'une éolienne nordexe.

I.4.3 Mat ;

Un mat, il permet de placer le rotor a une hauteur suffisante pour permettre son mouvement (nécessaire pour les éoliennes a axe horizontale),ou a une hauteur ou le vent souffle de façon plus fort e et plus régulière qu'au niveau du sol.

Et son rôle est d'une part de supporter l'ensemble rotor, nacelle pour éviter que les pales ne touchent le sol, mais aussi de placer le rotor à une hauteur suffisante, de manière à sortir autant que possible le rotor du gradient de vent qui existe à proximité du sol, améliorant ainsi le captage de l'énergie.

Certains constructeurs proposent ainsi différentes hauteurs de tour pour un même ensemble (rotor, nacelle), de manière à s'adapter au mieux aux différents sites d'implantation

I.5 Principe de fonctionnement de l'énergie éolienne ;

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne repose sur la transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique :le vent fait tourner des pales qui font elles même tourner le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique.

I.6 Les déférents types d'éoliennes ;

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal ;

I.6.1 Les éolienne à axe verticale

Ces éoliennes à axe vertical ont été conçues pour répondre au mieux aux contraintes engendrées par les perturbations du milieu urbain Grâce à leur structure, elles fonctionnent avec des vents provenant de toutes les directions et sont moins soumises à ces perturbations que les éoliennes à axe horizontal.

I.6.1.1 Les éoliennes à rotation lente ''multiples'' ;

Sont utilisées depuis des dizaines dans les campagnes .

Leur fonction quas-exclusive est de servir au pompage de l'eau.

Les éoliennes à rotation rapide, à deux ou trois pales, forment l'essentiel du marché.

I.6.1.2 Aérogénérateurs

Les éoliennes à rotation rapide, bi- ou tripales en général, constituent actuellement la catégorie des éoliennes en vogue, et sont essentiellement affectées à la production d'électricité, d'où leur nom le plus courant d'aérogénérateurs.

Parmi les machines à axe horizontal parallèle à la direction du vent, il faut encor différencie l'aérogénérateur dont l'hélice est en amont de machine par apport au vent « hélice au vent »et celle dont l'hélice est en aval de la machine par rapport au vent « hélice sous le vent ».



Figure I.4 ; éoliennes à axe horizontale

Les avantages d'une machine à axe vertical sont :

- La génératrice, le multiplicateur, ….. etc.

sont placés à la terre. * Il n'est pas nécessaire d'utiliser un mécanisme d'orientation pour orienter le rotor dans la direction du vent.

Les inconvénients sont :

-L'efficacité globale des éoliennes à axe vertical n'est pas impressionnante. L'éolienne ne démarre pas automatiquement

I.6.2 Les éoliennes à axe horizontale ;

Les éoliennes à axe horizontal sont en tout point similaires aux éoliennes classiques (de type hélice) quant à leur principe de fonctionnement. Les pales mises en rotation par l'énergie cinétique du vent entraînent un arbre raccordé à une génératrice qui transforme l'énergie mécanique créée en énergie électrique. Les éoliennes urbaines à axe horizontal se caractérisent par leur petite taille, allant de 5 à 20 mètres, par le diamètre des pales (2 à 10 m) et par leur puissance atteignant pour certaines 20 kW

Aujourd'hui, les seules éoliennes commerciales sont les éoliennes à axe horizontal.

Les éoliennes à axe vertical ont été prometteuses dans les années 80 et au début des années 90 mais elles ont été écartées du marché à cause de leur faible rendement aérodynamique ainsi que les fluctuations élevées de leur puissance électrique générée



Figure I.5 ; Eolienne à axe vertical



Eolienne de types Savonius



Eolienne de type Darrieus

Figure I.6 ;éolienne de type Darrieus et Savonius

I.7 **Application des éoliennes**

L'éolienne transforme l'énergie cinétique des masses d'air en énergie mécanique de rotation qui peut être exploitée soit;

- ✓ Directement pour entraîner par exemple une pompe de relevage d'eau.
- ✓ Pour entraîner une génératrice électrique. Dans ce cas, on distingue deux types d configuration:
- ✓ Stockage de l'énergie dans les accumulateurs en vue de son utilisation ultérieure.
- ✓ Injection directe de l'énergie dans un réseau de distribution. On constate ainsi les applications électriques de l'énergie éolienne, à savoir d'une part de complémentarité avec les moyens traditionnels de produit (centrales thermiques classiques ou nucléaire, barrages …) pour des régions disposant d'une infrastructure existante et d'autre part la possibilité de production sur des sites non raccordés à un réseau de distribution traditionnel.

- ✓ Il est particulièrement intéressant de souligner les possibilités offertes par l'énergie éolienne en ce qui concerne le désenclavement de région Peu urbanisées et ses applications dans les pays en voie de développement.

Tabla I.1 ; Avantages et inconvinients des déférents types d'éoliennes

type	**Avantages**	**Inconvinenients**
Eolienne à axe horizontale	-on compte beaucoup plus de possesseurs d'éoliennes horizontales. -plus fréquente à l'achat -il y a plus de modèles -le rendement est meilleur -capte mieux le vent de sa fabrication -les prix est abordables	-sa résistance face aux vents violents -peu très vite être handicapant pour les personnes habitants dans une région ou les vents sont très forts -le rendement est plus élevé.
Eolienne à axe verticale	-l'éolienne verticale peut fonctionner même si les vents sont faible et ce n'est pas tout elle fonctionne aussi avec les vents violents puisque son système n'a pas besoin de protection. -capter ce vent et donc produire de l'électricité. -pas la peine d'avoir un emplacement immense dans son jardin. le prix de revient d'une éolienne a fort ement diminué. -un parc éolien prend peu de temps à construire	-celui d'être moins productive ,elle produit moins que les éoliennes. -peu commercialiées dans la marché éolien des particuliers.

I.8 Les déférents types moteurs utilisés;

I.8.1 Système utilisant la machine synchrone;

Les éolienne basée sur les génératrices asynchrone ou à rotor bobiné présentent l'inconvénient de nécessité un système de bague et de balai pour la MADA et un multiplicateur pour les deux type induisant des coûts significatifs de maintenance. Pour limiter ces inconvénients, certain constructeurs ont développé les éoliennes basées sur des machines synchrone à grand nombre de paire de pôles et coupler directement à la turbine évitant ainsi le multiplicateur.

Si de plus la génératrice est équipé d'aimants permanents, le système de bague et ballai est éliminé, l'inconvénient de cette structure, est qu'elle nécessite pour sa connexion au réseau des convertisseurs de puissance.

Cet inconvénient est cependant un avantage du point de vu contrôle de l'éolienne

I.8.1.1 Les avantages et les inconvénients;

La MSAP à plusieurs avantages mais aussi elle a quelques inconvénients;

I.8.1.1.1 Les avantages;

Les machines synchrones à aimants permanents présentent plusieurs avantages par rapport aux autres types de machines;

- Puissances massiques importantes et élevées

- Absence de contacts glissants

- Pas des pertes résistives au rotor ; ce qui facilite l'évaluation de la chaleur due aux pertes dans la machine. Ainsi, il y a suppression d'équipement de refroidissement au rotor.

- Suppression des bagues et des ballais, ce qui réduit les problèmes de maintenance.

- Possibilité de supporter des surcharges transitoires importantes et un bon comportement dynamique en accélération et en freinage.

-Grande fiabilité.

-Fonctionnement en survitesse.

I.8.1.2 Les inconvénients;

Dans le moteur synchrone à aimants permanents le commutateur mécanique du moteur à courant continu est remplacé par un commutateur électronique, ce qui a pour effet de rendre le contrôle de ce moteur plus complexe et couteux que celui d'un moteur à courant continu .

- Un désavantage du moteur synchrone est la présence de pulsations de couple. Selon la méthode de commutation utilisée, le moteur synchrone est plus ou moins sujet à ce phénomène. La commutation sinusoïdale d'un contrôleur complexe et de capteur de courant sophistiqué (coûteux). La commutation trapézoïdale, permet d'utiliser un contrôleur et des capteurs de courant plus simples et moins couteux (exemple : capteur à effet hall), mais implique la présence de fortes pulsations de couple.

- La présence d'aimants permanents majore le prix des moteurs synchrones, notamment dans le cas de l'utilisation d'aimants de type terre rare. Ces aimants présentent de très grandes qualités (champs coercitif, tenue en chaleur, etc.) par rapport aux aimants « ferrites » mais ont un prix aussi beaucoup plus élevé.

- Le contrôle basé sur une commutation électronique augmente la complexité et donc le prix du contrôleur et du variateur. A cela s'ajoute le coût des capteurs supplémentaires nécessaires à la boucle du courant.

- Risque de désaimantation (irréversible) : limite de température maximale, courant maximum, défluxage impossible dans les machines à courant continu, possible dans les machines synchrones par contrôle de l'angle d'autopilotage.

- Pertes par courants de Foucault dans les aimants.

I.8.2 Systèmes utilisant la machine asynchrone;

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

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

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

I.8.2.1 Avantages ;

Comparé au moteur shunt, le moteur asynochrone a l'avantage d'étre alimenté directement par le réseau triphasé.

-Son prix d'achet est moins élevé, il est beaucoup plus robuste car il ne nécessite pratiquement pas d'entretien.

-Ses deux qualités fondamentales (prix et solidité) résulte du fait qu'il n'a pas de collecteur.

- En effet, le collecteur est un organe couteux et fragile qui nécessite un entretien fréquent :

Changement des balais.

I.8.2.2 Les inconvénients ;

- A l'exception du démarrage et de l'inversion du sens de marche que l'on peut résoudre de façon satisfaisante, le moteur asynchrone a des performances très médiocres par rapport à celles du moteur shunt.

- En effet jusqu'à ces dernières années l'entraînement idéal était réalisé par le léonard formé un moteur shunt alimenté par un convertisseur de tension.

I.9 L'onduleur ;

Un onduleur est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, en une énergie alternative. La forme de la tension de la sortie de l'onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde (l'allure sinusoïdale c'est que le taux d'harmonique soit très faible, et ça dépend essentiellement à la technique de commande utilisée.

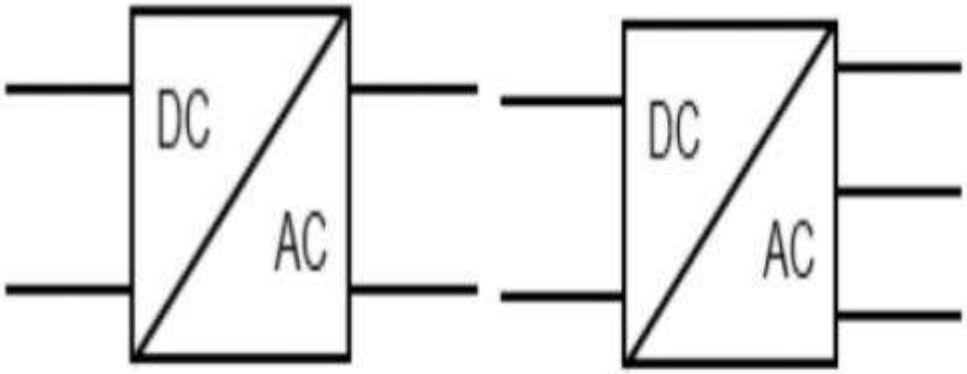


Figure 1.7 Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé.

I.10 Redresseur ;

Les montages redresseur, souvent appelés simplement redresseur, sont le convertisseur de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu.Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasé, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

On utilise un redresser claque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est. disponible en alternatif. Comme c'est sous cette second forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications.

Les redresseurs à diodes, ou redresseur non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continu de sortie .De plus , il

sont irréversibles, c'est –à-dire que la puissance ne peut aller que du coté alternatif vers le côté continu.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés , permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varie la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles ; lorsqu'il assurent le transfert de puissance du côte continu vers le coté alternatif. On dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes**.**

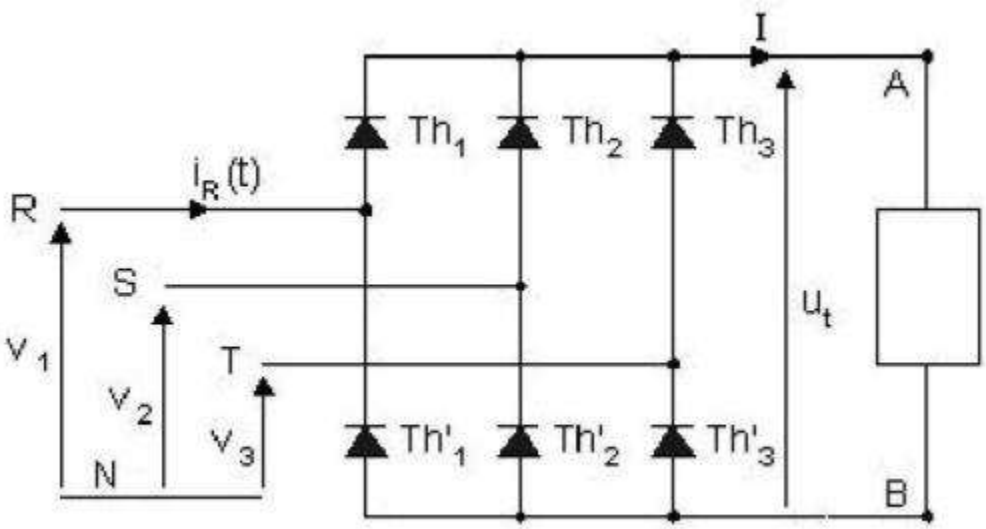


Figure I.8 Redressers à diodes.

I.11 Bus à courant continu

La pésente invention concerne un systéme de commande de bus à courant continu destiné à commander une varition de puissance dans un bus à courant continu raccordant une alimetation élecrique d'entrée et une charge ledit systéme comprenant :

un dispositif de stabilisation principal comprenant un premier élément de charge/décharge et un premier convertisseur de puissance ;

et au moins un dispositif de stabilisation de sous-stabilisation comprenant un second élément de charge /décharge, un élément de charge ou un élément décharge et un second convertisseur de puissance.

Le premier convertisseur de puissance est configuré de sorte à déterminer une valeur cible de tension de bus correspondant à un indice de quantité d'électricité stocké du premier élément de charge/décharge et est configuré de sort à échanger de maniére bilatérale une puissance en courant continu entre le premier élément de charge/décharge et le bus à courant continu de telle maniére bilatérale une puissance en courant continu entre le premier élément de charge/décharge et le bus à courant continu de telle manier que la tension du bus à courant continu corresponde à la valeur cible de tension de bus.

Le secod convertisseur de puissance est cofiguréde sorte à déterminer une valeur cible de courant en fontion d'une différence entre une valeur de suil se rapportant à la charge ou à la décharge du second élément du second élément de charge/décharge ,de l'élément de charge ou de l'élément de décharge et la tension du bus de courant continu, et est cofiguré de sorte à échanger une puissance en courant continu entre le second élément de charge/décharge, l'élément de charge ou l'élément de décharge et le bus de courant continu de telle maniére qu'un courant égal à la valeur cible de courant circule à travere le second élément de charge/décharge, l'élément de charge ou l'élément de décharge .

I.12 Le pompage éolien ;

Éolien était destiné pour abreuver le bétail dans les prairies et pour la consommation domestique des foyers isolés. Ce n'est que ces derniers temps que l'intérêt pour l'irrigation, s'est vu accru mais pour des petites surfaces.

Les éoliennes de pompage sont utilisées depuis l'antiquité pour pomper de l'eau dans des puits. Cette utilisation revient à la mode chez les particuliers notamment dans le milieu rural, dans l'optique d'une économie d'énergie et d'un pompage d'eau efficace à moindre coût

Aussi un tel système présente des avantages, du fait qu'il est souple d'installation, bonne régulation et une maintenance réduite, également il représente des inconvénients comme le cout élevé, rendement que pour des vent élevés (4m/s) et son exigence de stockage afin de subvenir aux besoins pour les jours peut venté

Deux types de pompage existent :

- Le système mécanique

- Le système électrique

I.12.1 Le déférent système de pompage ;

I.12.1.1 Eolienne de pompage mécanique ;

Le principe de fonctionnement est le suivant : un rotor éolien d'une vingtaine de pales entraîne, par un système de bielle-manivelle, une pompe à piston plongée au fond du puits (schéma ci- dessous). C'est un système qui convient assez bien pour les zones peu ventées, avec des besoins en eau journaliers n'excédant pas les 20 m et des profondeurs de puits ne dépassant pas les 50 m. Avec des puits plus profonds, les quantités d'eau pompées sont faibles et les risques de rupture de la tringlerie de pompage sont accrus compte tenu des efforts mécaniques.

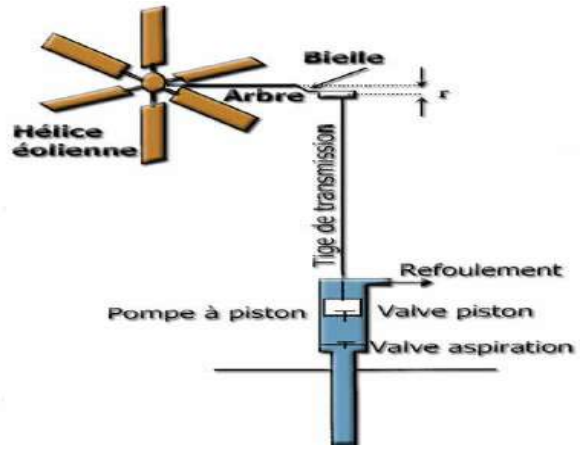


Figure I.9. schéma d'une éolienne de pompage d'eau.

I.12.1.2 Eolienne de pompage électrique ;

Plusieurs systèmes de pompage éolien électrique existent, mais le plus courant est sans conteste, celui dont la configuration est la suivante (schéma ci-dessus) : un rotor éolien muni de deux à trois pales est couplé à une génératrice à aimant permanent qui alimente directement un moteur à induction triphasé qui à son tour est couplé à une pompe, quelle soit de surface ou submersible.

Pour un site isolé et assez bien venté, l'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau peut s'avérer indispensable et très compétitive par rapport à d'autres sources d'énergie.

Des deux systèmes éoliens de pompage décrit plus haut, on peut conclure que le pompage éolien électrique est nettement plus performant que le pompage éolien mécanique. Pour

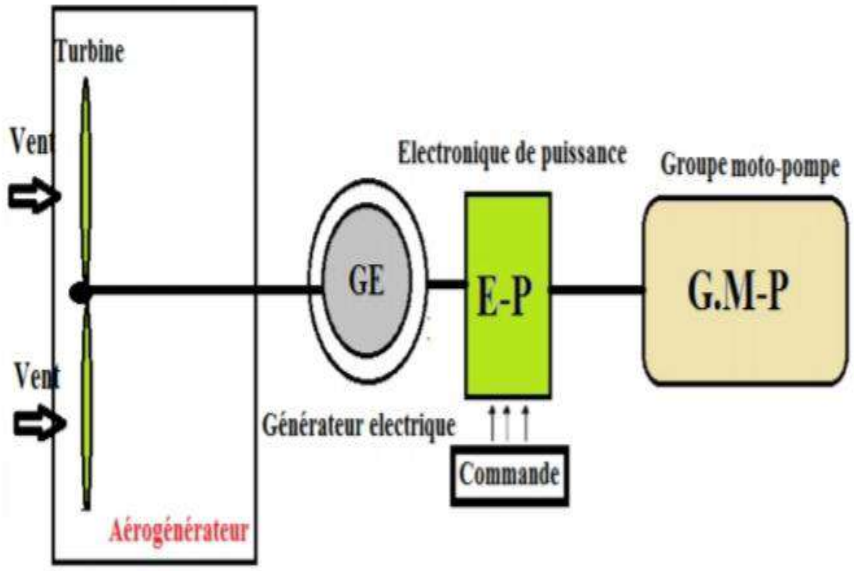


Figure I.11. Schéma d'une chaine de conversion d'énergie

Une pompe est une machine capable de transformer l'"énergie mécanique en énergies hydraulique.

Il ya plusieurs types de pompes disponibles pour les systèmes de pompage. On dénombre Principalement deux types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétrique.

I.12.1 Les pompes centrifuges ;

Les pompes centrifuges sont des machines hydrauliques caractérisées par leur faculté à transmettre de l'énergie à des fluides (en particulier liquides) grâce à la force centrifuge.

L'objectif principal est de transférer des fluides par une augmentation de la pression.

Les pompes centrifuges peuvent avoir des conceptions différentes, mais leur principe de fonctionnement et leurs caractéristiques dynamiques des fluides sont Toujours les même.

Schématiquement, les pompes centrifuges sont formées d'un rotor appelé turbine ou roue qui tourne à l'antérieur d'un corps.

Le rotor à aubes comprend une série d'aubes, de préférence de conception radiale, qui transmet l'énergie cinétique au fluide pompé.

Le corps de est de pompe est équipé de buses d'aspiration et de refoulement pour le fluide pompé, la buse d'aspiration à un axe qui correspond à l'axe de rotation du rotor, tandis que la bus de refoulement a un axe perpendiculaire à l'axe du rotor, mais se trouvant toujours sur le même plan que la turbine.

I.12.2 Fonctionnement d'une pompe centrifuge ;

Le fluide pompé entre en continu par la buse d'aspiration de la pompe au centre de la turbine.

De là, il est accéléré dans une direction radiale jusqu'aux extrémités de la turbine, où il est refoulé dans le corps.

Le flux de liquide est accéléré par la poussée que les pales du rotor, grâce à leur courbure, transmettent au flux lui-même.

De cette façon, le liquide acquiert de l'énergie, principalement sous la forme d'une augmentation de sa vitesse moyenne (énergie cinétique).

A l'intérieur du corps, le liquide est ralenti grâce à la section progressivement croissante dans le sens du mouvement.

Une telle augmentation de section est généralement obtenue en concevant la partie périphérique du corps (aérateur de tube) en forme de spirale avec une section transversale (généralement circulaire, trapézoïdale ou rectangulaire) qui varie de zéro jusqu'à la valeur de section du refoulement.

De cette façon, l'énergie cinétique du fluide est convertie en énergie de pression, dans le corps, à l'opposé de l'aspiration, se trouver le couvercle, dans la section centrale du couvercle, au passage d'arbre, se trouve l'étanchéité d'arbre (garniture mécanique), l'étanchéité entre la zone haute pression (à l'antérieur du corps) et la zone basse pression (buse d'aspiration) est obtenue grâce à un jeu très réduit créé entre la turbine et le corps.

La turbine et l'arbre sont en porte-à-faux par deux roulements situés à l'extérieur du corps dans un support spécial.

I.12.3 Les pompes volumétriques ;

Une pompe volumétrique est une pompe dans laquelle une certaine quantité de fluide <<emprisonnée <est forcée à se déplacer jusqu'à l'orifice de sortie.

Le début d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse d'actionnement de ses élément mobiles et dépend très peu de la pression de refoulement (par contre, l'énergie consommée par la pompe est proportionnelle à la différence de pression entre la sortie et l'entrée de la pompe),les pompes volumétrique sont d'une grand diversité, dans les bases de données de brevets, elles portent le nom <<pompes à déplacement positif>>.

I.13 : stockage de l'énergie ;

I.13.1 : Système de stockage ;

L'utilisation de sources d'ER induit le concept de stockage d'électricité en raison du caractère intermittent de ces sources (comme l'énergie solaire et éolienne…). L'utilisation du moyen de stockage d'électricité est très variée; elle dépend de la nature des besoins et du type d'applications, particulièrement, les SEH géographiquement isolés et non raccordés au réseau, qui intègrent au moins une source d'ER nécessitant un système de stockage. Deux types de stockage sont utilisés dans les SEH : le stockage à court terme et le stockage à long terme.

La stratégie de stockage à court terme permet de filtrer les fluctuations des ER et de réduire également le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels, donc la consommation de carburant. Par contre, le stockage à long terme est utilisé pour assurer une continuité d'approvisionnement de l'énergie pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours).

Le système de stockage peut être aussi utilisé avec les systèmes raccordés au réseau électrique, afin d'éliminer les fluctuations de puissance à court terme, de plus d'assurer la continuité du service en cas de défaillance du réseau

I.13.2 Technologies des systèmes de stockage ;

Le stockage de l'énergie est une action qui permet de placer une quantité d'énergie dans un lieu donné afin de l'utiliser ultérieurement. L'opération de stockage d'énergie est toujours associée à l'opération inverse consistant à récupérer l'énergie stockée. L'énergie électrique peut être stockée sous différentes formes: mécanique, électromagnétique, électrochimique et thermique.

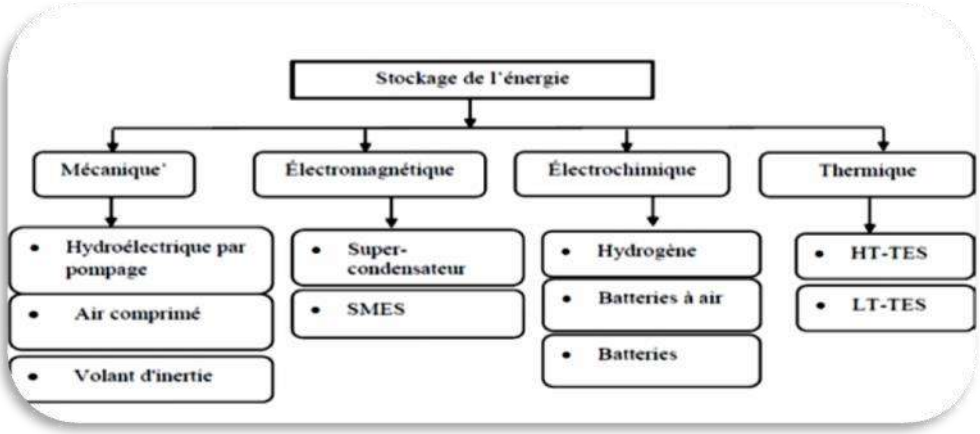


Figure. I.12. Classification des technologies de système de stockage.

I.13.2.1 Les technologies de stockage mécanique ;

Représentées par le stockage hydroélectrique par pompage (PHS), le stockage d'énergie par air comprimé (CAES) et le stockage d'énergie par volant d'inertie (FES).

I.13.2.2 Les technologies de stockage électromagnétique ;

Représentées sont des super-condensateurs et le stockage d'énergie magnétique supraconducteur (SMES).

I.13.2.3 Les technologies de stockage thermique ;

Le stockage thermique est formé par le stockage d'énergie thermoélectrique à haute température (HT-TES) et le stockage d'énergie thermoélectrique à basse température (LT-TES).

I.13.2.4 Les technologies électrochimiques ;

Elles sont divisées en stockage à base d'hydrogène, batteries à air et stockage d'énergie par batterie (BES).0 Le BES peut être distingué en batteries plomb-acide (Pb-acide), en batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd) ou en nickel-métal-hydrure (Ni-MH), en soufre (NaS) et en batteries lithium-ion (Li-ion).

I.13.2.4.1 Batterie au Plomb-acide (Pb-acide) ;

Elle présente plusieurs avantages, c'est la moins chère par rapport à d'autres technologies, elle est presque entièrement recyclable (plus de 90%) et leur autodécharge est faible. Cependant, ce genre de batteries est sensible aux décharges trop profondes conduisant à une diminution importante de leur durée de vie.

I.13.2.4.2 Batterie au lithium-Ion (li-Ion) ;

Les performances de ce type sont bien meilleures que les autres. Leur autodécharge est très faible (1 % par mois), cela signifie que l'énergie massique stockée est relativement bien supérieure, caractérisée par une tension de fonctionnement élevée permettant la réduction du nombre d'éléments pour une tension donnée et leur durée de vie élevée; Mais le coût est beaucoup plus élevé à cause de leur fabrication qui nécessite un investissement bien supérieur que celui des batteries au Plomb. En plus, la batterie lithium contient un pourcentage élevé de métaux lourds et dangereux, en effet leur recyclage est compliqué et n'atteint pas la maturité.

I.13.2.4.3 Batterie au nickel-cadmium (Ni-Cd) ;

Elle est robuste, mais souffre d'un coût élevé, d'une tension de cellule relativement faible, une autodécharge assez rapide (20% par mois). Telle la batterie lithium-Ion, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.

À cause des limites des batteries au lithium-Ion et aux alcalines, nous préférons la batterie au plomb. Dans notre travail, nous proposons un système de contrôle de la charge et de la décharge de batteries, afin de prolonger la durée de vie et éviter la dégradation due aux décharges profondes ou des surcharges.

De nos jours, les technologies les plus émergentes dans les SEH sont les technologies électrochimiques et principalement les systèmes de stockage d'énergie à batterie. En particulier les trois types des batteries : plomb-acide, nickel-cadmium et lithium-ion, en raison de leurs maturités et de leurs faibles coûts. Ils présentent la propriété de pouvoir transformer de l'énergie chimique générée par des réactions électrochimiques en énergie électrique, sans émission de polluants.

I.14 Caractéristiques des batteries ;

Les paramètres techniques les plus représentatifs identifiés d'un accumulateur sont :

I.14.1 Capacité nominale ;

C'est la quantité d'énergie que l'on peut stocker dans une batterie, elle s'exprime en ampères-heures (Ah).

I.14.2 Tension d'utilisation ;

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

I.14.3 Durée de vie et cycle de vie ;

Les deux caractéristiques définissent la durabilité d'un système de stockage. La durée de vie est mesurée en années. D'autre part, la durée de vie du cycle est mesurée dans les cycles de charge-décharge.

I.14.4 Profondeur de décharge ;

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisée pendant un cycle de charge/décharge.

I.14.5 Autodécharge ;

Définit l'énergie perdue par un système de stockage pendant le temps de non-utilisation. Ce paramètre est mesuré par la relation entre l'énergie perdue pendant une certaine période de temps (heure, jour où mois) et la capacité énergétique du dispositif de stockage.

I.14.6 Rendement ;

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

I.14.6 Etat de charge (EDC) ;

C'est la quantité d'énergie disponible divisée par la capacité nominale de la batterie. Si EDC = 1, la batterie est chargée et quand : EDC = 0, la batterie est vide.

I.15 CONCLUSION ;

Nous avons au fil des pages de ce premier chapitre présenté quelques définitions et généralités sur l'énergie éolienne suivies par un aperçu sur les différents types d'éoliennes et pompes et nous avons cité comme exemple les commandes et les convertisseurs les plus utilisés.

Nous nous sommes aussi intéressés aux machines électriques utilisées dans la conversion aérodynamique accompagnées de quelques spécifications proprement liées aux différents structures d'alimentation comme suite aux points.

La dernière partie de ce chapitre a été consacrée pour expliquer les technologies des différents stockages utilisés.

Chapitre II : Modélisation des éléments de système pompage éolien avec stockage

II.1.Introduction :

La simulation Matlab est caractérisée par des équations mathématiques qui facilitant sa réalisation

II.2 Description du système à étudier :

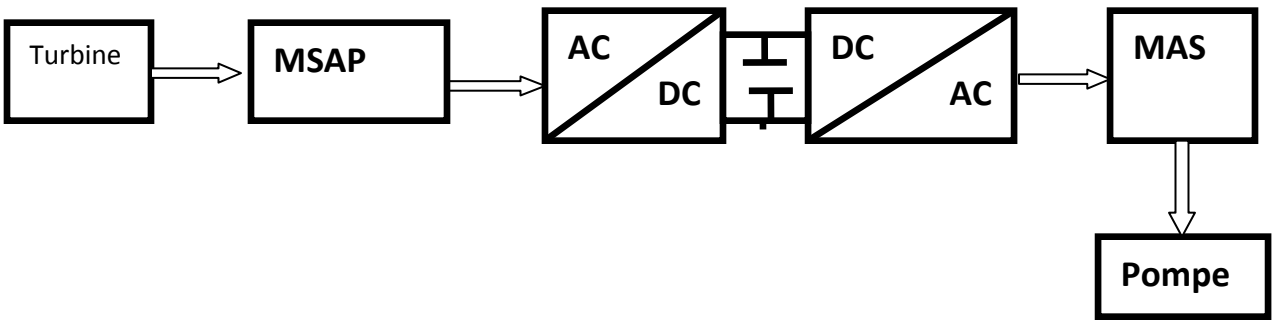


Figure II.1. Système globale à étudier.

II.3 Modélisation du système :

II.3.1 Modélisation de la vitesse du vent;

La vitesse du vent qui représente la grandeur d'entrée du système de conversion d'énergie éolienne, à une variation aléatoire et une caractéristique très fluctuante.

Alors la modélisation de la turbine éolienne est indispensable et cela pour une meilleure exploitation de la vitesse du vent, car la puissance éolienne dans les conditions optimales, et en fonction de la vitesse du vent au cube. La vitesse du vent est tridimensionnelle.

La vitesse du vent (Vv) peut être donc modélisée comme une fonction scalaire qui évolue dans le temps : $Vv = f(t)$.

II.3.2 Modélisation de la turbine éolienne;

II.3.2.1 Puissance de la turbine éolienne ;

L'éolienne capte l'énergie cinitique du vent et la convertir en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs dét$\frac{R\Omega t}{Vv}$erminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor :la densité de l'air, la surface balayée par le climatologques qui déppendent du site. La puissance maximale qui peut être récupérée est décrite par l'équation de Belz :

$$P\ t = \frac{1}{2}\ (\ \rho\pi R2Vv\ 3Cp) \qquad (II.1)$$

Où:

Pt est la puissance mécanique de la turbine (Watt) :

ρ est la densité de l'air (kg/m3);

R est le rayon du rotor éolien (m);

Vv est la vitesse du vent (m/s) .

Cp le coefficient de puissance indique l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie du vent en électricité. Pour chaque vitesse de vent ,nous divisons ensuit le résultat par la puissance puissance du vent par mètre carré. Ce coefficient est fonction de l'angle de calage β et de la vitesse spécifique λ définie par :

$$\lambda = \frac{R\Omega t}{Vv} \qquad (II.2)$$

Où Ωt est la vitesse de rotation du rotor éolien.

Le coefficient de puissance a une valeur théorique maximale donnée par la limite de Betz Cpmax = 0.593.

$$Cp(\lambda,\beta) = C_1\ (-\frac{C2}{\lambda i} - C3\beta - C4)\ e^{c5/\lambda i}\ + c_6\lambda \qquad (II.3)$$

II.3.3 Modélisation de la turbine éolienne;

II.3.3.1 Puissance de la turbine éolienne ;

L'éolienne capte l'énergie cinitique du vent et la convertir en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs dét$\frac{R\Omega t}{Vv}$erminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor :la densité de l'air, la surface balayée par le climatologques qui déppendent du site. La puissance maximale qui peut être récupérée est décrite par l'équation de Belz :

$$P\ t = \frac{1}{2}\ (\ \rho\pi R2Vv\ 3Cp) \qquad (II.1)$$

Où:

Pt est la puissance mécanique de la turbine (Watt) :

ρ est la densité de l'air (kg/m3);

R est le rayon du rotor éolien (m);

Vv est la vitesse du vent (m/s) .

Cp le coefficient de puissance indique l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie du vent en électricité. Pour chaque vitesse de vent ,nous divisons ensuit le résultat par la puissance puissance du vent par mètre carré. Ce coefficient est fonction de l'angle de calage β et de la vitesse spécifique λ définie par :

$$\lambda = \frac{R\Omega t}{Vv} \qquad (II.2)$$

Où Ωt est la vitesse de rotation du rotor éolien.

Le coefficient de puissance a une valeur théorique maximale donnée par la limite de Betz Cpmax = 0.593.

$$Cp(\lambda,\beta) = C_1\ (-\frac{C2}{\lambda i} - C3\beta - C4)\ e^{c5/\lambda i}\ + c_6\lambda \qquad (II.3)$$

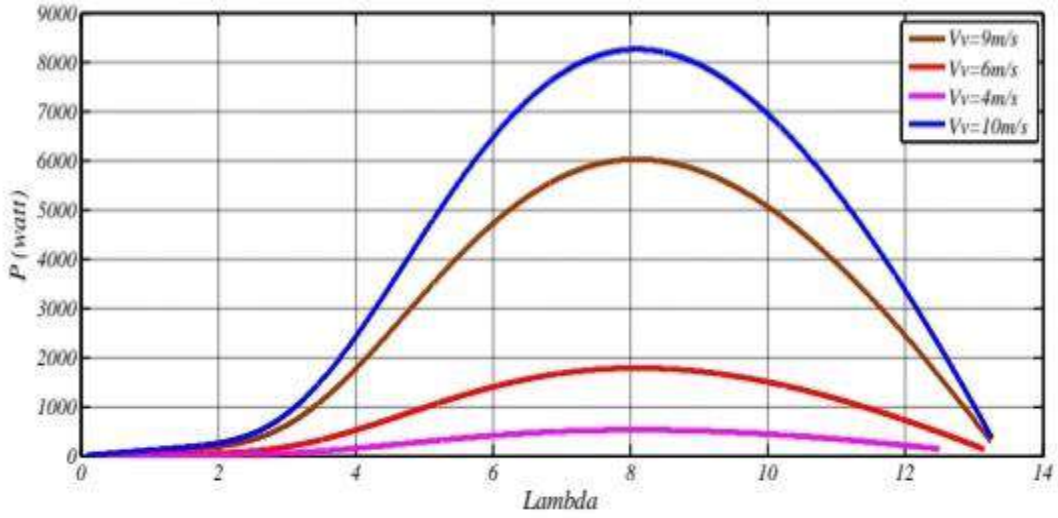


Figure II.2. Allure de la puissance P.

II.5 La génératrice synchrone à aimants permanents :

La caractéristique d'auto excitation du GSAP lui permet de fonctionner avec un facteur de puissance élevé et un bon rendement, ce qui le rend propice à l'application à des systèmes de génération éolienne. En fait, dans la catégorie des petites turbines, son coût réduit et sa simplicité en font le générateur le plus employé. Cependant, dans les applications de plus grande puissance, les aimants et le convertisseur (lequel doit faire transiter toute la puissance générée), en font le moins compétitif**.**

II.5.1 Modalisation de la MSAP ;

Aujourd'hui la plupart des machines synchrones utilisées dans les petites éoliennes sont des machines synchrones à aimants permanents par rapport à la machine à excitation .Car leurs performance, notamment en termes de couple massique, sont très intéressantes lorsqu'elles ont un très grand nombre de pôles.

Toute machine électrique dans laquelle la vitesse de rotation du rotor est égale à la vitesse de rotation du champ tournant est appelé machine synchrone. Pour l'obtention d'un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique doit être généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. Cela dit, qu'en mode permanent la position du champ magnétique

rotorique est alors fixe par rapport au rotor, ceci impose une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant statorique.

- **Le stator** :ou l'induit est la partie fixe de la machine, il se compose de trois enroulements parcourus par des courants alternatifs décalés de 120° dans l'espace et dans le temps, logés dans les encoches du circuit magnétique fixe.
- **Le rotor** :ou inducteur est la partie mobile de la machine se compose d'aimants permanents. Ce dernier présente l'avantage d'éliminer les balais et les pertes rotoriques, ainsi que la nécessité d'une source pour fournir le courant d'excitation. Cependant, on ne peut pas contrôler l'amplitude du flux rotorique.

II.5.1.1 Equations électriques ;

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

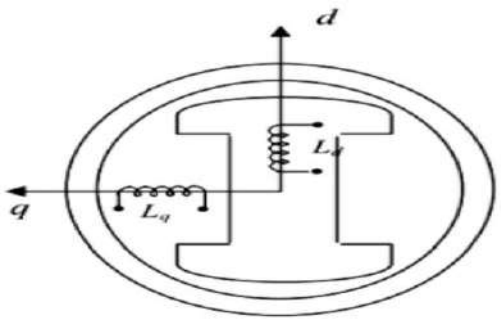


Figure II.3. Représentation de la MSAP dans le repère (d, q) de Park.

La transformation de Park est Le changement de variable effectué, les équations des tensions, courants et flux obtenues sont :

$$P(\theta)=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix}\cos\theta & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta-\frac{4\pi}{3}\right)\\ \sin(\theta) & \sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta-\frac{4\pi}{3}\right)\\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix} \quad \text{(II.5)}$$

$$[i_{d,q}] = P(\theta)[i_{abc}] \quad \text{(II.6)}$$

$$[V_{d,q}] = P(\theta)[V_{abc}] \quad \text{(II.7)}$$

$$\theta_c = P(\theta)[\phi_{abc}] \quad \text{(II.8)}$$

Ainsi les équations de la machine dans le repère de Park sont :

$$V_d = R_s\, id - \frac{did}{dt} L_d\, \omega\, .L_q\, .i_q \quad \text{(II.9)}$$

$$V_q = R_s\, i_q + L_q \frac{diq}{dt}\, \omega.\, L_d\, i_d \quad \text{(II.10)}$$

II.5.1.2 Equations magnétique ;

Dans les machines synchrones à répartition sinusoïdale des conducteurs, Ψ_d et Ψ_q sont fonctions linéaires des courants i_d et i_q :

$$\Psi_d = L_d\, i_q + \Psi_f$$

$$\Psi_q = L_d\, i_d$$

Où :

L_d et L_q :les inductances directe et en quadrature, elles sont supposées indépendantes de θ.

Ψf : représente le flux des aimants.

Les circuits électriques équivalents de la MSAP peuvent être représentés comme suit .

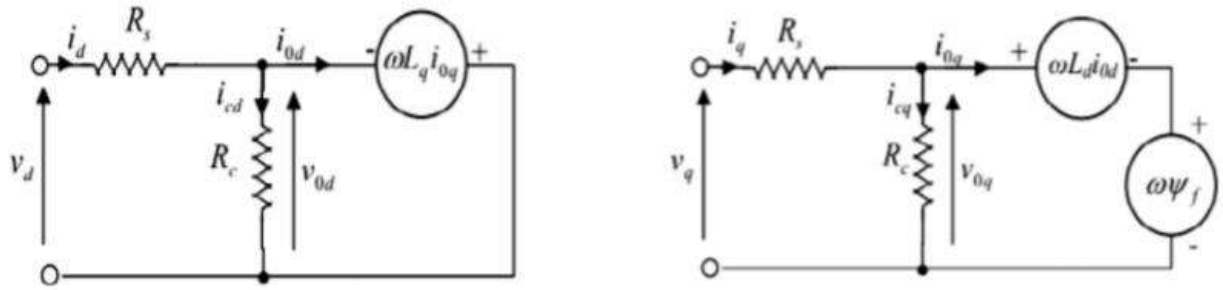


Figure II.4. Circuit équivalent de MSAP –convention moteur.

II.5.1.3 Expression du couple électromagnétique ;

$$C_{em}= \frac{3}{2} p[(L_d - L_q)i_q\, i_{q+}i_d + i_q \Psi_f\ ] \qquad (II.12)$$

Où :

P : nombre de paires de pôles

id : Courant statorique selon l'axe d

iq: Courant statorique selon l'axe

L_d : Inductance statorique selon l'axe d

L_q: Inductance statorique selon l'axe q

Ψ_f : Flux inducteur.

II.5.1.4 Equations mécaniques ;

La dynamique de la machine est donnée par l'équation mécanique suivante :

$$C_m - Cem - f\Omega = \frac{jd\Omega}{dt} \qquad (II.13)$$

Où :

Cm : couple moteur appliqué sur la génératrice,

Ω_t: Couple de frottement,

J : moment d'inertie total de la machine,

f : coefficient de frottement visqueux.

II.6 Modélisation d'un redresseur :

Parmi tous les convertisseurs AC-DC, la solution de référence est le redresseur triphasé à modulation de largeur des impulsions.

Il permet un contrôle totalement réversible de la puissance instantanée, il peut contrôler les grandeurs électromécaniques telles que le couple électromagnétique ou la vitesse de rotation de la génératrice.

Les inconvénients de cette structure reposent sur la complexité du montage qui comporte bras complets donc six interrupteurs et la commande nécessitant généralement un capteur mécanique de position. Nous allons développer cette structure car elle est la plus courante dans les applications éoliennes et donne une indication sur l'efficacité énergétique relative aux autres montages.

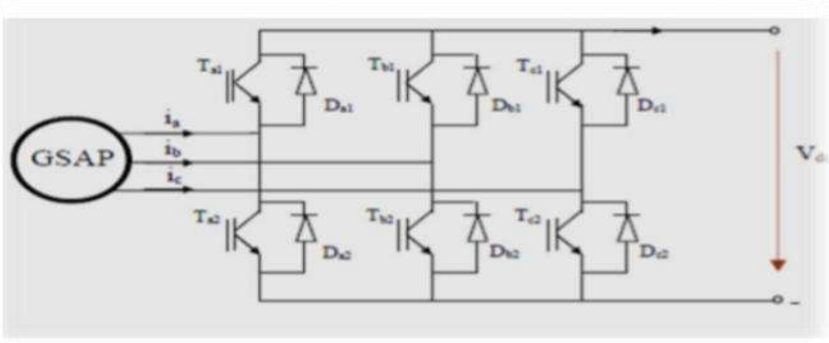


Figure II.5. Schéma d'un redresseur.

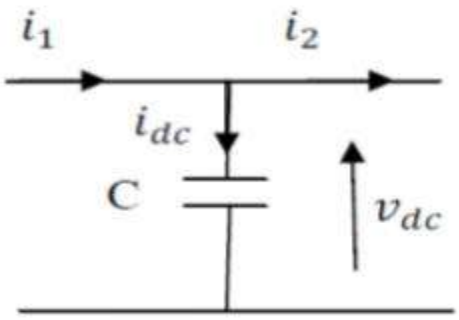


Figure II.6. Schéma électrique de bus continu.

L'évolution temporelle de la tension du bus continu est obtenue à partir de l'intégration du courant capacitif ic :

$$v_{dc} = \int \frac{1}{C_{dc}} i_c dt$$

i_c : Courant circulant dans la capacité ;

V_{dc}: Tension du bus continu ;

C_{dc}: Capacité du bus continu.

II.7 Modélisation de l'onduleur de tension :

L'onduleur de tension représente aujourd'hui la « brique de base » dans les systèmes d'interfaçage avec le réseau. Il permet entre autres de contrôler les puissances (active et réactive) échangées avec le réseau. Il peut être utilisé en mode onduleur ou en mode redresseur mais la modélisation reste la même dans les deux cas.

L'onduleur est constitué de trois branches où chacune est composée de deux paires d'interrupteurs supposés parfaits et dont les commandes sont disjointes et complémentaires ;

chaque interrupteur est représenté par une paire transistor-diode qui est modélisé par deux états défini par la fonction de connexion logique suivant :

$$f_i = \begin{pmatrix} 1 \text{ linterrupteur i est fermé (Ki conduit)} \\ 0 \text{ linterrupteur i est ouvert (ki bloqué)} \end{pmatrix}$$

La figure (II.7) représente le schéma de l'onduleur triphasé :

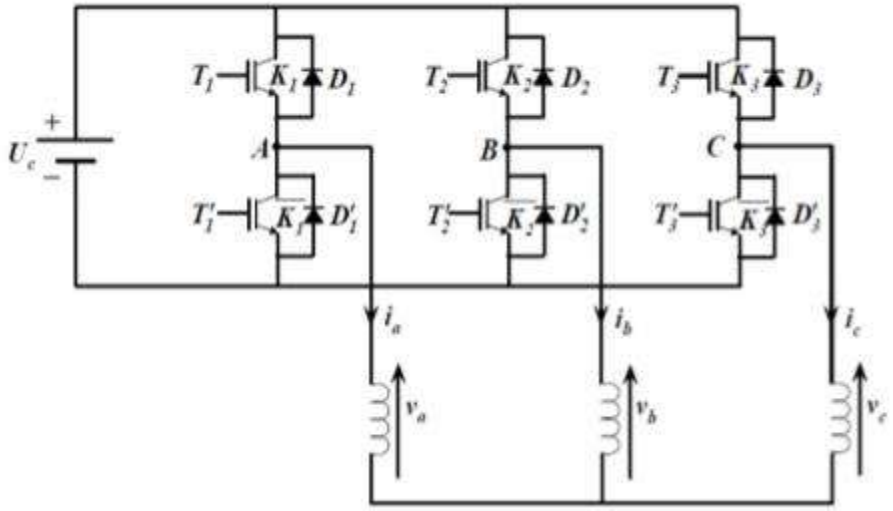


Figure II.7. Onduleur triphasé à deux niveaux.

Les tensions composes sont :

$U_{AB} = V_a - V_b = f_1 - f_2$ (II.14)

$U_{CA} = V_c - V_a = f_3 - f_1$ (II.15)

$U_{BC} = -V_c = f_2 - f_3$ (II.16)

Les tensions simples V_a , V_b et V_c forment un système triphasé équilibré, tel que

La résolution des équations (14) – (16) nous donne :

$V_a + V_b + V_c = 0$ (II.17)

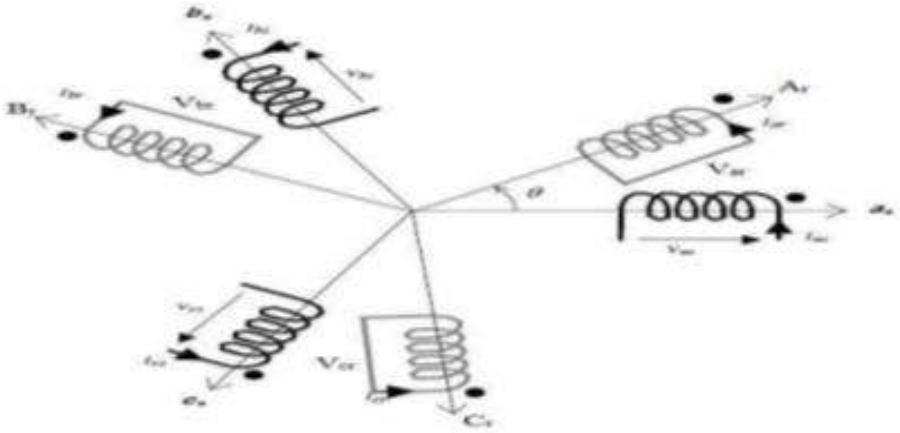


Figure II.8. Représentation de la machine asynchrone a cage d'écureuil.

II.8. Equations électriques et magnétiques de la MAS dans le repère (abc) :

II.8.1.1 Equations électriques et magnétiques :

En appliquant la loi de FARADAY à chaque bobinage de la machine asynchrone, on peut écrire, pour chacun des six enroulements statorique et rotorique, l'équation électrique suivante :

$$V = R.i + \frac{d\Phi}{dt} \qquad \text{(II.19)}$$

Avec :

R, i, V et Φ représente respectivement la résistance du bobinage, le courant dans le bobinage, la tension à ces bornes et le flux le traversant.

Les équations régissant le fonctionnement d'une machine asynchrone s'écrivent sous la forme matricielle suivante :

$$[V_{sabc}] = [R_r] + \left[\frac{d\Phi_{sabc}}{dt}\right] \qquad \text{(II.20)}$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][I_{rabc}] + \left[\frac{d\Phi_{rabc}}{dt}\right] \qquad \text{(II.21)}$$

Avec :

Respectivement les vecteurs des tensions statorique et rotorique

$$[V_{sabc}]=\begin{bmatrix}V_{sa}\\V_{sb}\\V_{sc}\end{bmatrix} \qquad [I_{rabc}]=\begin{bmatrix}I_{ra}\\I_{rb}\\I_{rc}\end{bmatrix}$$

Respectivement les vecteurs des courants statorique et rotorique

$$[I_{sabc}]=\begin{bmatrix}I_{sa}\\I_{sb}\\I_{sc}\end{bmatrix} \qquad [I_{rabc}]=\begin{bmatrix}I_{ra}\\I_{rb}\\I_{rc}\end{bmatrix}$$

Respectivement les vecteurs des flux statorique et rotorique.

$$[\Phi_{sabc}]=\begin{bmatrix}\Phi_{sa}\\\Phi_{sb}\\\Phi_{sc}\end{bmatrix} \qquad [\Phi_{rabc}]=\begin{bmatrix}\Phi_{ra}\\\Phi_{rb}\\\Phi_{rc}\end{bmatrix}$$

Respectivement les matrices des résistances statorique et rotorique.

$$[R_s]=\begin{bmatrix}R_s & 0 & 0\\0 & R_s & 0\\0 & 0 & R_s\end{bmatrix}= \qquad [R_r]=\begin{bmatrix}R_r & 0 & 0\\0 & R_r & 0\\0 & 0 & R_r\end{bmatrix}$$

Le rotor de la machine étant en court-circuit, la relation (II. 21) devient :

$$[V_{rabc}]=0=[R_r].[I_{rabc}]+\frac{[I_{rabc}]}{dt} \qquad \text{(II.22)}$$

A ces équations électriques, il faut rajouter celle du couple électromagnétique qui s'écrit :

$$C_{em}=\frac{1}{2}[I_{sabc},I_{rabc}].([\Phi_{sabc},\Phi_{rabc}]) \qquad \text{(II.23)}$$

Sachant que les différents flux de la machine s'expriment en fonction des inductances de la manière suivante :

$$[\Phi_{sabc}]=[L_S].[I_{sabc}]+[M_{sr}(\theta)].[I_{sabc}] \quad \text{(II.24)}$$

$$[\Phi_{rabc}]=[L_r].[I_{RABC}]+[M_{rs}(\theta)].[I_{rabc}] \quad \text{(II.25)}$$

Avec :

$$[L_S]=\begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \qquad [L_r]=\begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

$$[M_{sr}]=\begin{bmatrix} \cos(\theta_{sr}) & \cos\left(\theta_{sr}+\frac{\pi}{2}\right) & \\ \cos\left(\theta_{sr}-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta_{sr}) & \cos\left(\theta_{sr}+\frac{\pi}{2}\right) \\ \cos\left(\theta_{sr}+\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_{sr}-\frac{\pi}{3}\right) & \cos(\theta_{sr}) \end{bmatrix} \qquad M_{rs}[M_{sr}]^t$$

Où seules les inductances mutuelles entre stator et rotor sont fonction de la position rotorique Θ, l'expression du couple se réécrit sous la forme suivante :

$$C_{em}=[I_{sabc}]^t\left(\frac{d}{d\theta_{sr}}.[M_{rs}]\right)[I_{rabc}] \quad \text{(II.26)}$$

Finalement :

$$[V_{abc}]=[R_s][I_{abc}]\frac{d}{dt}\left([L_s][I_{abc}]+[M_{sr}][I_{abs}]\right) \quad \text{(II.27)}$$

$$[V_{abc}]=[R_r][I_{abc}]+\frac{d}{dt}\left([L_r][I_{abc}]+[M_{rs}][I_{abc}]\right) \quad \text{(II.28)}$$

L_S: Inductance propre d'une phase statorique ;

L_r : Inductance propre d'une phase rotorique ;

M_s : Inductance mutuelle entre deux phase de stator ;

M_r : Inductance mutuelle entre deux phases de rotor.

Θ_{sr} : Ecart angulaire entre une phase statorique et la phase rotorique Correspondante.

II.8.1.2 Equation mécanique :

L'étude des caractéristiques de la machine asynchrone fait introduire des variations non Seulement des paramètres électrique (tension, courant, flux) mais aussi des paramètres mécaniques (couple, vitesse) :

$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{1}{j_m}\left(C_{em} - C_r - f_m\Omega_r\right) \qquad (II.$$

J_m: Moment d'inertie du rotor et des parties tournantes de la machine ;

f_m: Coefficient du frottement visqueux

C_{em}: Couple électromagnétique ;

C_r: Couple de charge ;

Ω_r: Vitesse rotorique du moteur.

II.8.2 Application de la transformation de Park à la machine asynchrone :

La transformation de Park a pour but de découpler magnétiquement le stator et le rotor et cela en substituant les enroulements de phase a, b, et c dont les conducteurs et les axes magnétiques sont immobiles par rapport au stator par deux enroulements en quadrature d'axes d et q. Pour des raisons de simplicité, nous considérons les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Les composantes homopolaires sont nulles ;
- Les effets des pertes ferromagnétiques et de la saturation sont négligés ;
- La distribution de la force magnétomotrice dans l'entrefer est sinusoïdale.

En appliquant cette transformation, on obtient la représentation suivante :

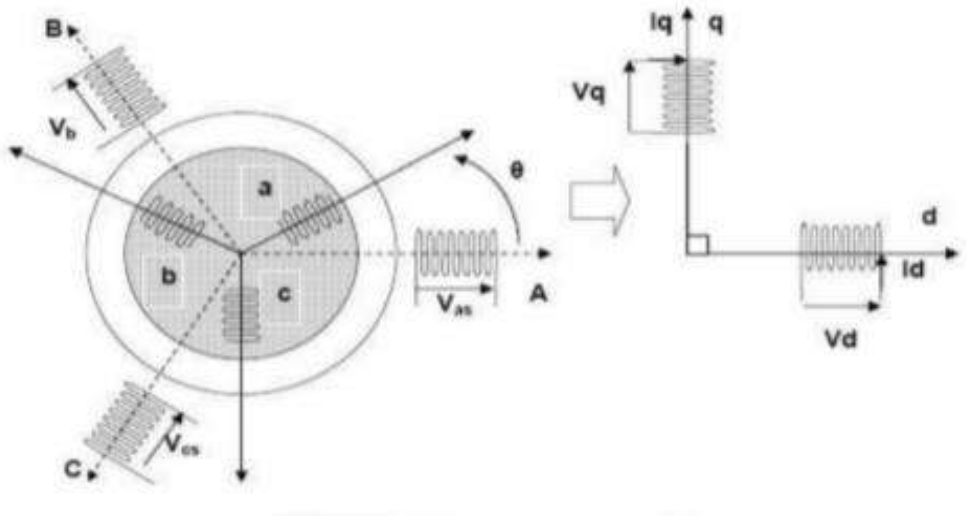


Figure II.9. Modèle de Park d'un moteur asynchrone.

En appliquant alors la transformation de Park aux équations statorique avec un angle de rotation Θs on aboutit aux expressions suivantes dans le repère d_q :

$$V_{ds} = R_s \cdot I_{sd} - \omega_s \cdot \Phi_{sq} + \frac{d\left[\Phi_{sd}\right]}{dt} \qquad \text{(II.29)}$$

$$V_{qs} = R_s \cdot I_{sq} + \omega_s \cdot \Phi_{sd} + \frac{d\left[\Phi_{sd}\right]}{dt} \qquad \text{(II.30)}$$

De même, en appliquant aux équations rotorique avec un angle de Θr, on aboutit aux expressions suivantes dans le repère d_q :

$$V_{rd} = 0 = R_r \cdot I_{rd} - (\omega_s - \omega) + \frac{d\left[\Phi_{sd}\right]}{dt} \qquad \text{(II.31)}$$

$$V_{rq} = 0 = R_r \cdot I_{rq} + (\omega_s - \omega) \cdot \Phi_{rd} + \frac{d\left[\Phi_{sq}\right]}{dt} \qquad \text{(II.32)}$$

Avec :

V_{ds}, V_{qs}: Tension statoriques direct et quadratique ;

I_{sd}, I_{sq} : Courant statoriques direct et quadratique ;

, Φ_{sq}: Flux statoriques direct et quadratique ;

I_{rd}, I_{rq}:Courant rotoriques direct et quadratique ;

Φ_{rd}, Φ_{rq}: Flux rotoriques direct et quadratique ;

ω_s- ω_r: vitesse statorique et rotorique.

Tel que la vitesse mécanique:

$\omega = p\Omega = \omega s - \omega r$

En supposant le système parfaitement équilibré, les composantes homopolaires, sont identiquement nulles.

II.8.2.1 Equations magnétiques :

Les flux statorique et rotorique s'expriment dans le repère de Park, en fonction des courants, par la relation matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sq} \\ \Phi_{sd} \\ \Phi_{sq} \\ \Phi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} \qquad \text{(II.33)}$$

Avec :

$L_s = I_s$ + M : Inductance cyclique statorique ;

$L_r = I_r$+ M : Inductance cyclique rotorique ;

I_s I_r,: Respectivement Inductances de fuite statorique et rotorique ;

$\frac{d\theta_s}{qt} = \omega_s$: Pulsation des grandeurs statorique ;

$\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r$: Pulsation des grandeurs rotorique.

M : Mutuelle inductance.

Ainsi, on obtient l'équation matricielle suivante qui englobe les différentes équations électriques de la machine exprimées dans le repère (dq) lié au champ tournant :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & -\omega_s L_s & 0 & \omega_s M \\ \omega_s L_s & R_s & \omega_s M & 0 \\ 0 & -\omega_s M & R_s & -\omega_r L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{d}{dt} I_{sd} \\ \frac{d}{dt} I_{sq} \\ \frac{d}{dt} I_{rd} \\ \frac{d}{dt} I_{rq} \end{bmatrix}$$

II.8.2.2 Equations mécanique :

D'après la loi fondamentale de la dynamique nous pouvons écrire :

$$J_m \frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r - f\Omega \qquad \text{(II.34)}$$

L'expression du couple électromagnétique en fonction des flux statorique et courants rotorique est comme suite :

$$C_{em} = \frac{PM}{Lr} \cdot \left(\phi_{rd} \cdot I_{sq} - \phi_{rq} \cdot I_{sd} \right) \qquad \text{(II.35)}$$

II.8.3 Modélisation du système de pompage ;

Le système de pompage est constitué d'un moteur, d'une pompe et d'un réservoir pour le stockage d'eau. Le moteur permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou alternatif. L'énergie mécanique à la sortie du moteur permet de faire tourner la pompe. La pompe permet donc de convertir l'énergie mécanique reçue en énergie hydraulique. Par la suite, l'eau à la sortie de la pompe sera stockée dans un réservoir.

Habituellement, selon leur principe de fonctionnement, il existe deux types de pompes :

volumétrique ou centrifuge.

Pour les besoins de cette étude, nous avons choisi la pompe centrifuge.

Les pompes centrifuges vérifient les lois d'affinité.

Ces lois sont utilisées dans l'hydraulique pour exprimer le rapport mathématique entre certaines variables de la pompe comme la vitesse de rotation, le débit volumétrique, la puissance, etc. Par exemple, si on connait pour une vitesse de rotation Ω, le débit Q, la hauteur manométrique totale H et la puissance absorbée P, les lois d'affinité permettent de déterminer pour une autre vitesse Ω, le débit Q', la hauteur H' et la puissance P'. Ces lois d'affinité sont d'après.

$$\frac{Q}{Q_{ref}} = \frac{\Omega}{\Omega_{ref}} \qquad \text{(II.36)}$$

$$\frac{H}{H_{ref}} = \left(\frac{\Omega}{\Omega_{ref}}\right)^2 \qquad \text{(II.37)}$$

$$\frac{P}{P_{ref}} = \left(\frac{\Omega}{\Omega_{ref}}\right)^3 \qquad \text{(II.38)}$$

Où Q_{ref} , Href et P_{ref} sont respectivement le débit de référence, la hauteur de référence et la puissance de référence à la vitesse de référence Ω_{ref}. Le modèle de l'ensemble motopompe a été conçu dans l'environnement MA TLAB/Simulink à partir des équations (II.36) à (II.38).

II.9 Modélisation du stockage :

L'électricité ne peut être stockée facilement et nécessite sa transformation sous une autre forme d'énergie (chimique, thermique, potentielle, mécanique, etc.). Le stockage de l'énergie électrique constitue un des composants d'un futur développent durable.

D'un point de vue technique un système de stockage peut être caractérisé par :

* P_{max} : puissance maximale de charge/décharge.

*W_{max} : énergie stockée maximale.

* τ_{ch} : constante de temps de charge.

* τ_{dch} : constante de temps de décharge.

* P_{chmax} : puissance maximale de charge.

* P_{dchmax} : puissance maximale de décharge.

La puissance du système de stockage est donnée par ;

$$p_{stock} = \left(\frac{1}{\tau_{ch}.S+1} P_{cours} + \frac{1}{\tau_{dck}.S+1} P_{cours} \right) \quad \text{(II.39)}$$

Et l'énergie stockée dans le système de stockage sera :

$$Wstock\, \omega_{stock} = \int P_{ch} dt + \int P_{ch} dt \quad \text{(II.40)}$$

Dans notre cas le système de stockage est composé essentiellement d'un groupe des batteries en parallèles. Les batteries sont commandé de tel sort qu'un groupe décharge et les autres charge pour garder la tension d'alimentation du l'onduleur constante et au même temps pour emmagasiné l'énergie fournie par la génératrice.

- Une batterie est représentée par l'équation suivante :

$$V = E_0 + a * e^{-b+D} - I * K \frac{Q}{Q-D} \quad \text{(II.41)}$$

Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenterons les équations caractérisant le fonctionnement et les modèles mathématiques qui seront utilisés pour modéliser les différentes parties du système de pompage éolien afin de les simuler sous le logiciel (Matlab/Simulink).

Chapitre III : Commande de système de pompage éolien avec stockage

III.1 Introduction :

Le développement de l'informatique industrielle et l'automatique appliquée aux systèmes de conversion électrique met à notre disposition des moyens qui permettent d'implanter des lois de commande (de position, de vitesse et de couple) de plus en plus performantes et robustes pour les machines électriques. Ces lois de commandes sont traditionnellement conçues sur la base de boucles imbriquées (asservissement en cascade).

Cependant le contrôle vectoriel porte en général sur des machines alimentées en tension et régulées en courant, cette topologie permet un découplage entre les variables de commande, reste le plus utilisé vu les performances dynamiques élevées qu'il offre pour une large gamme d'applications.

Nous utilisons la commande vectorielle par flux orienté et dispositif de suivie de la puissance maximale, et nous clôturons par des tests de simulation pour valider nos modèles.

III.2 Méthodes de recherche du point maximum de puissance

La caractéristique de la puissance optimale d'une éolienne est une courbe non linéaire en forme de «cloche» [42], [43]. Pour chaque vitesse du vent, le système doit atteindre sa puissance maximale qui correspond à sa vitesse de rotation optimale.

La figure (III.1) illustre la puissance en fonction de la vitesse de rotation de la turbine de l'éolienne. Chaque courbe en ligne pointillée correspond à une vitesse de vent Vv donnée.

L'ensemble des sommets (points optimaux recherchés) de ces caractéristiques définit la courbe de puissance optimale. L'équation de cette courbe est :

$$P_{opt} = \frac{1}{2} C_p^{opt}\left(\lambda_{opt}\right).\rho.S.V_V^3 \qquad \text{III.1}$$

Pour la zone 2, le fonctionnement idéal du système éolien nécessite l'utilisation de la commande Maximum Power Point Tracking (MPPT). Afin de maximiser la puissance électrique générée, la stratégie utilisée consiste à contrôler le couple électromagnétique pour régler la vitesse. On distingue deux approches possibles :

- La première, la moins classique [43], considère que la caractéristique C p= f¬ (λ) n'est pas connue.
- La deuxième, la plus répondue, suppose que la caractéristique C p= f (λ) soit¬ connu, pour que l'éolienne fonctionne dans des conditions optimales, il est nécessaire de suivre la courbe optimale de puissance.

III.2.1 Résultat de simulation:

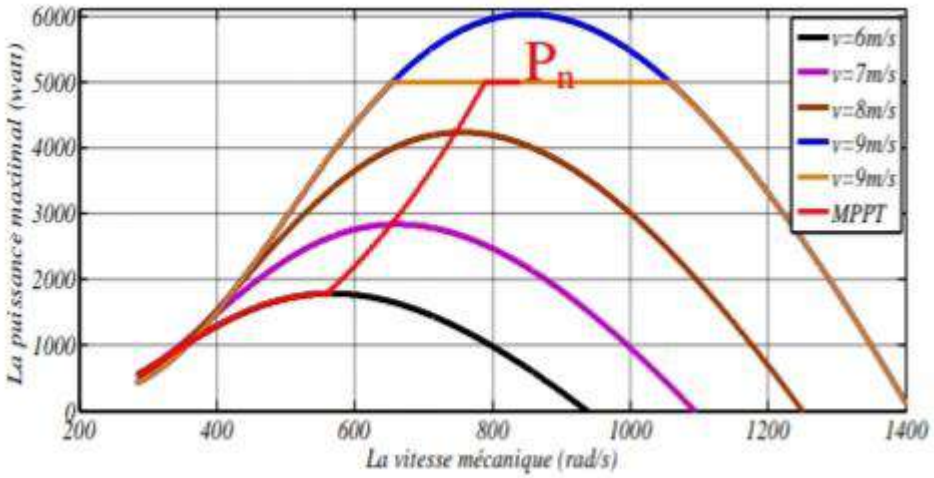


Figure III.1: L'allure de la puissance en fonction de la vitesse mécanique pour une déférente variable de vent.

III.2.2 Maximisation de la puissance avec asservissement de vitesse :

Afin d'extraire un maximum de puissance, malgré les variations fréquentes de vitesse du vent, une commande par l'asservissement de la vitesse de rotation permet de maintenir le rapport entre la puissance extraite et celle du vent à sa valeur maximale. En d'autres termes, il faut maintenir le coefficient de puissance Cp à sa valeur maximale. Cette commande nécessite l'utilisation d'un régulateur de vitesse [33] [34].

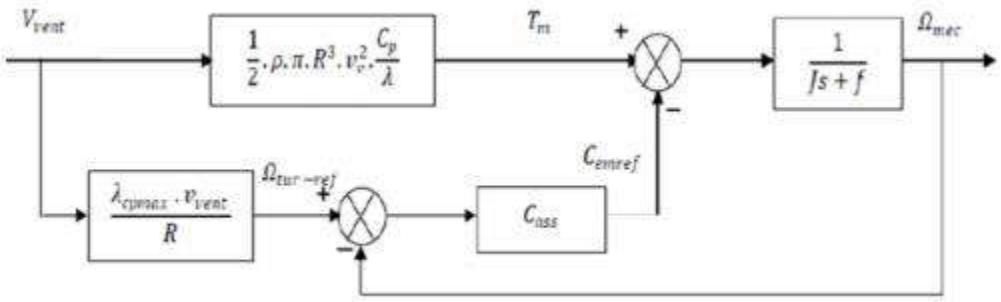


Figure III.2. Schéma bloc de la turbine avec maximisation de la puissance extraite à l'aide d'un asservissement de la vitesse [45].

Le vent, source principale d'énergie de fonctionnement du système, fournit le couple aérodynamique Tm. Si de ce dernier est soustrait le couple électromagnétique créé dans la génératrice, le couple mécanique obtenu permet de calculer la vitesse de rotation. Pour générer le couple électromagnétique de référence, par l'utilisation d'un contrôleur, il est nécessaire de calculer la vitesse correspondante à Cpmax

La vitesse de référence de la turbine correspond à la valeur optimale de la vitesse spécifique λopt et le coefficient de puissance maximale Cpmax est donné par la relation (II.2) :

$$\Omega_{ref} = \frac{\lambda_{opt}.V_V}{R} \qquad (\text{III.2})$$

III.3 Commande vectorielle de la MSAP alimentée en tension :

III.3.1 Commande vectoriel :

La commande vectorielle a pour le but de trouver une proportionnalité entre le flux et le couple d'une machine à courant continue à excitation séparée sur la machine asynchrone. Cela permet d'obtenir des performances dynamique intéressantes et un contrôle précis du couple jusqu'à vitesse nulle.

III.3.2. Principe de la commande vectorielle :

Cette méthode est basée sur le choix d'un repère de référence, lie au flux rotorique. Si on décompose le courant statorique en ses composantes isd suivant le flux rotorique et isq en quadrature avec ce flux, on met en évidence une commande découple du flux et du couple.

On obtient alors des fonctionnements comparables à ceux d'une machine à courant continu à excitations séparée ou le courant inducteur contrôle le flux et le courant induit contrôle le couple.

On considère diverses méthodes du flux orienté direct et indirect. On montre la réalisation concrète de cette commande selon que la machine est alimentée en courant ou en tenion.

III.3.3 Commande vectorielle directe :

Cette méthode nécessite une bonne connaissance du module du flux et sa phase :

Celle-ci doit être vérifiée quelque soit le régime transitoire effectué. Il faut donc procéder à une série de mesures disponibles au sein du processus.

Ce mode de contrôle est ainsi appelé parce qu'une régulation du flux est introduit par une boucle de contre réaction nécessitant la mesure ou l'estimation de ces variation. Dans son essence, la commande vectorielle directe doit être réalisée par la mesure du flux qui nécessite l'utilisation du capteur placé dans l'entrefer de la machine opération généralement délicate à réaliser.

Afin d'accéder à l'information concernant l'amplitude et la phase du flux il faut faut utiliser des capteurs <<à effet hall précédemment placé sous les dents du stator>>.Il sont mécaniquement fragiles et ne peuvent pas travailler dans les conditions sévères telles que le vibration et l'échauffement excessif .Les signaux captés sont entachés des harmonies et leur fréquence varie avec la vitesse ce qui nécessite des filtres ajustables automatique.

III.3.4 Commande indirecte :

Cette méthode est ainsi appelée car on ne fait pas appel à une boucle de régulation du flux, et par conséquent elle ne nécessite pas l'utilisation du flux statorique.

Dans cette commande le vecteure du flux est estimé à partir de la mesure des Courants rototique et de la vitesse du rotor (w), en se basant sur les équations du circuit rotorique du moteur asynchrone dans un systéme de référence tournant en synchronisme avec le vecteur du flux statorique L'nconvénient majeur de cette méthode est la sensibilité de l'éstimition en vers la variation des paramétres de la machine due à la saturation magnétique et la variation de température surtout pour la canstante de temps rotorique t_r.

III.4 Command par logique flou :

La logique floue suscite actuellement un fervent intérêt de la part des chercheurs, des ingénieurs et des industriels, mais plus généralement de la part de tous ceux qui éprouvent le besoin de formaliser des méthodes empiriques, de généraliser les modes de raisonnement naturels, d'automatiser la prise de décision dans leur domaine et de construire des systèmes artificiels capables d'effectuer les tâche habituellement prises en charge par les humains.

Les démarches fondamentales de l'activité industrielle et économique, telles que la conception des produits, la gestion des systèmes ou la prise de décision, posent des problèmes de complexité croissante.

Face à cette difficulté, les approches numériques, pourtant bien développées se sont avérées d'une efficacité limitée. Zadeh a fait le lien entre les ensembles flous et la modélisation non probabiliste de l'incertitude grâce à la théorie des possibilités, dans laquelle les fonctions d'appartenances des ensembles flous servent à représenter les idées de valeur incomplètement spécifiée et mal connue. Les ensembles flous et lathéorie des possibilités sont à la base d'une méthodologie de représentation et d'utilisation de connaissances imprécises, vagues et incertaines que Zadeh appelle «théorie du raisonnement approché » et qui est plus connue sous le vocable de « logique floue».

Les travaux de Lotfi Zadeh dans les années soixante sur la théorie des ensembles flous et la logique floue, à l'université de Berkeley ont jeté les bases de la commande floue actuelle. Ces

travaux ont mis un certain temps avant d'être acceptés par la communauté de l'automatique et l'industrie. En effet la logique floue, de part ses aptitudes pluridisciplinaires (utilisée dans des domaines aussi variés que la gestion de base de données, les systèmes experts, le traitement du signal, la classification de données, la commande de systèmes automatiques), s'est attirée les critiques des scientifiques qui se sentaient attaqués sur leurs positions [12], il fallait attendre les années quatre-vingts dix pour que ces nouvelles théories soit acceptées et utilisées d'une manière générale.

En revanche, dans le domaine de la commande, la première application de la logique floue a été réalisée par Mamdani en 1974. Depuis 1987, date la première application utilisant la logique floue, le métro de Sendai, l'utilisation des techniques de commande floue n'a cessé de s'accroître

III.4.1 Les différentes parties de la commande floue :

Un contrôleur flou est un système à base de connaissances particulier, utilisant un raisonnement en profondeur limité, dans une procédure de chainage avant règles (activation des règles par les prémisses).

On peut distinguer plusieurs étapes dans le traitement des règles. Un schéma représentatif peut être le suivant :

Les variables caractéristiques du système à commander et les consignes définissent les variables d'entrée du contrôleur flou. Les variables caractéristiques sont en général, les grandeurs de sortie du processus et, le cas échéant, d'autres mesures déterminantes pour saisir l'évolution dynamique du processus. Les variables de sortie du contrôleur flou sont les commandes à appliquer au processus.

La base de connaissances est composée d'une base de données et d'une base de règles. La base de données regroupe :

- Les ensembles flous associés aux variables d'entrée et de sortie du contrôleur flou
- Les facteurs d'échelle (gains) en entrée (normalisation) et en sortie (dénormalisation).

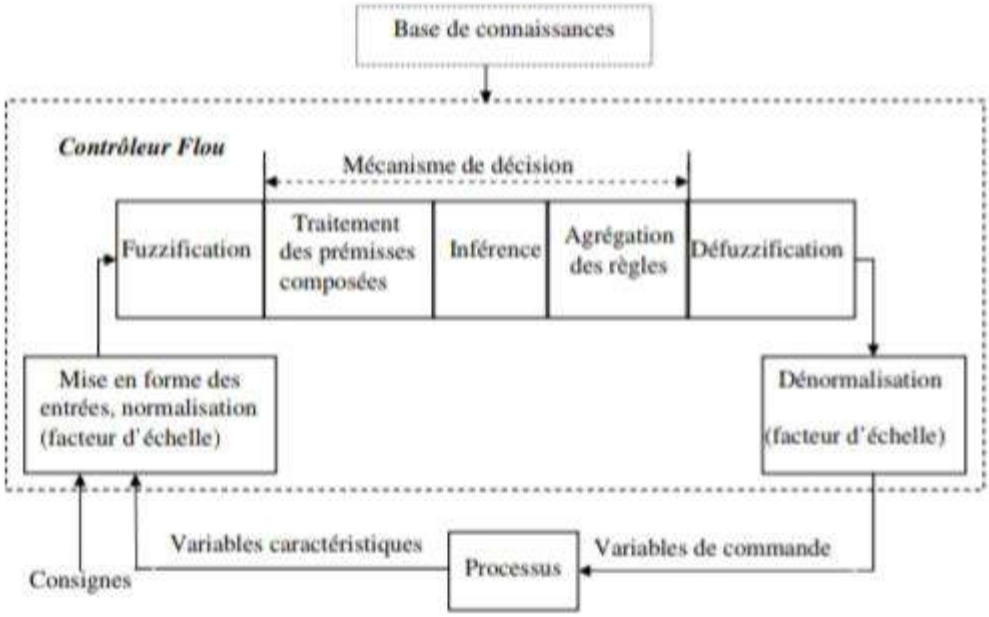


Figure III.3. structure de base d'un controleure flou.

La base de règle contient des règles de la forme :

« Si 1 X est 1 A et 2 X est 2 A …et n X est n A Alors Y est B » (III.1)

Ou X_1 X_2 ……., X_n et Y sont des grandeurs physiques caractéristiques du système et du problème de commande. n A_1 ,A_2 …..,A_n et B sont des labels linguistiques.

Suivant la nature de B on parlera de:

Suivant la nature de B on parlera de:

• Règles à conclusion symbolique (contrôleur de type Mamdani) : B est une valeur linguistique.

Exemple :

Si l'erreur est « Négatif Moyen » et la variation de l'erreur est « Positif Petit » Alors la régle de commande est « Négatif Petit ».

Conclusion algébrique (contrôleur de Sugeno) : B est une valeur numérique (singleton) ou une équation mathématique bien précise (non floue). Exemple :

Si l'erreur est « Négatif Moyen » et la variation de l'erreur est « Positif Petit » Alors la commande est -0.3. Lorsque B est une valeur numérique on parle de règles de Takagi-Sugeno « d'ordre zéro », sinon, de règles à conclusion polynomiale.

Bien que les sorties des contrôleurs flous de type Takgi-Sugeno soient généralement des fonctions non linéaires statiques de leurs entrées, il ne faut pas oublier de mentionner les contrôleurs dits « flous dynamiques » de Takgi-Sugeno, ou B est un modèle dynamique, certain ou incertain, à temps continu ou discret. L'utilisation de tels contrôleurs permet d'étendre certains résultats de l'automatique classique à la commande floue

On distingue classiquement trois parties dans la structure d'un contrôleur flou : la fuzzification, le mécanisme de décision et la défuzzification.

• La fuzzification est l'étape qui permet de transformer une grandeur mesurée sur le processus en un ensemble flou.

• Le mécanisme de décision permet de calculer les ensembles flous associés à la commande.

• La défuzzification est l'étape qui permet de transformer l'ensemble flou, obtenu par le calcul précédent, en une grandeur de commande à appliquer au processus.

Les opérations de normalisation et de dénormalisation sont des étapes optionnelles.

III.5 Découplage:

Le modèle de la machine synchrone dans le référentiel de Park conduit à un système d'équations différentielles où les courants i_d , i_q , ne sont pas indépendants l'un de l'autre. Ils sont reliés par des termes non linéaires Lq ωi_q et Ld ωi_d

$$\begin{cases} V_d = \left(R_S i_s + L_d \dfrac{di_d}{dt} \right) - \omega L_q i_q \\ V_q = \left(R_s i_q + L_q \dfrac{di_q}{dt} \right) + \omega \left(L_i i_d + \phi_f \right) \end{cases} \qquad \text{(III.3)}$$

Ce couplage est éliminé par une méthode de compensation [49]. Cette dernière méthode consiste à faire ajouter des termes afin de rendre les axes d et q complètements indépendants.

III.5.1 Découplage par compensation:

La compensation donc, à pour but de découpler les axes d et q. Ce découplage permet d'écrire les équations de la machine et de la partie régulation d'une manière simple et ainsi de calculer aisément les coefficients des régulateurs

Le principe de ce découplage revient à définir deux nouvelles variables de commande ed , eq représente dans la Figure III.2 telle que: [49]

$$\begin{cases} V_d = V_{d1} - e_d \\ V_q = V_{q1} + e_q \end{cases} \quad \text{(III.4)}$$

Avec :

$$\begin{aligned} V_{d1} &= L_d \frac{di_d}{dt} + R_s i_d \\ V_{q1} &= L_q \frac{di_q}{dt} + R_s i_q \end{aligned} \quad \text{(III.5)}$$

Et

$$\begin{cases} e_d = L_q \omega i_q \\ e_q = \omega\left(L_d i_d + \Phi_f\right) \end{cases} \quad \text{(III.6)}$$

On a donc les courants id et iq sont découplés. Le courant id ne dépend que deVd1 et iq ne dépend que Vq1 , à partir de l'équation (III.9) les courants id et iq s'écrivent de la façon suivante :

$$\begin{cases} i_d = \dfrac{V_{d1}}{R_s + PL_d} \\ i_q = \dfrac{V_{q1}}{R_s + PL_q} \end{cases} \quad \text{(III.7)}$$

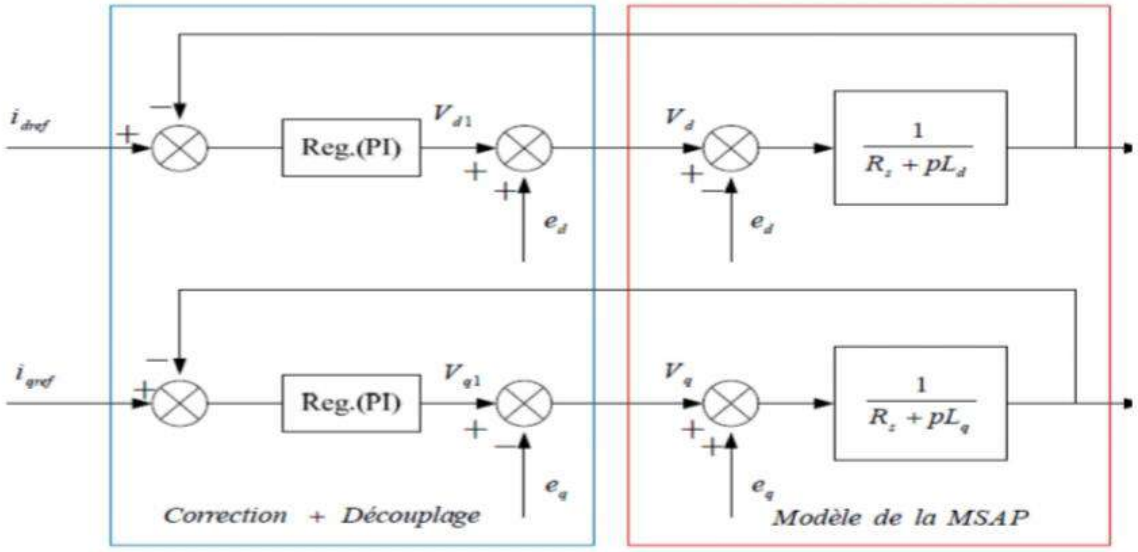


Figure III.4. Découplage par compensation.

Les actions sur les axes d et q sont donc découplés et représentées par la Figure (III.5)

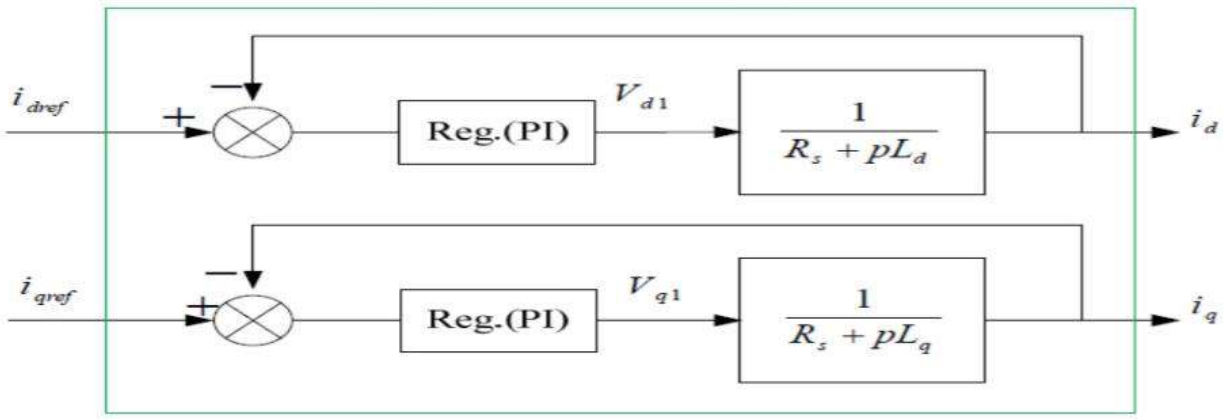


Figure III.5. Commander découple.

III.6 Commande par modulation sinus-triangle :

La M.L.I sinus-triangle est réalisée par comparaison d'une onde modulante basse fréquence (tension de référence) à une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire.

Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersection entre la porteuse et la modulante.

Le schéma de principe de cette technique est donné par la figure III.6

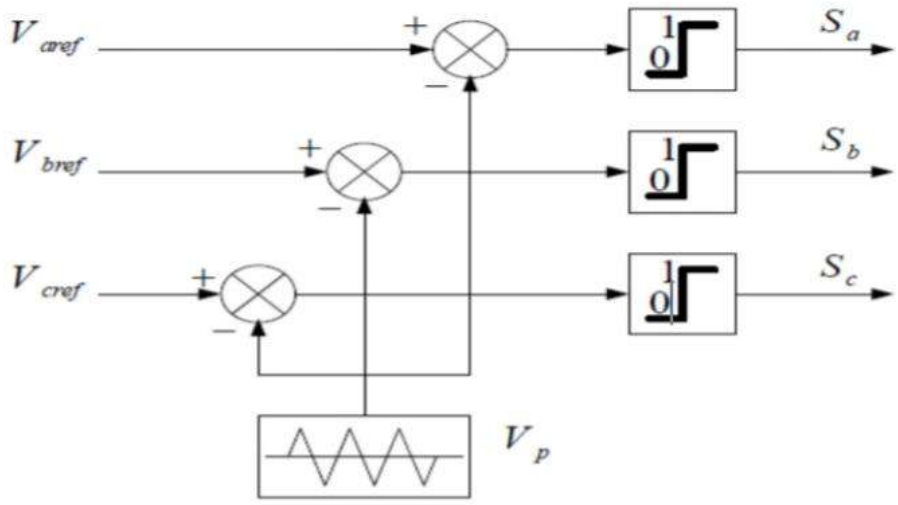


Figure III.6. Schéma de principe de la MLI sinus triangle.

III.7 Mise en forme des entrées, normalisation :

Cette première étape permet le traitement des variables d'entrée du contrôleur flou, par exemple, calcul de l'erreur et des variations d'erreurs. L'utilisation de domaines normalisés (univers de discours compris entre -1 et 1) nécessite une transformation d'échelle transformant les grandeurs physiques des entrées en des valeurs normalisées appartenant à l'intervalle [1,1].

III.8 Fuzzification :

C'est l'opération de projection des variables physiques réelles sur des ensembles flous caractérisant les valeurs linguistiques prises par ces variables

Le choix de la forme des fonctions d'appartenance (triangulaires, trapézoïdales, exponentielles, gaussiennes,…) est arbitraire. Les formes triangulaires facilitent la programmation ce qui explique qu'elles soient le plus fréquemment utilisées. Quant au nombre de fonctions d'appartenance, il est généralement impair car elles se répartissent autour de zéro.

III.9 Traitement des prémisses composées :

En général, les prémisses des règles vont comporter plusieurs clauses liées par des connecteurs « ET », « OU» et « NON». Dans la pratique, pour les opérations de conjonction et

de disjonction, on a souvent recours, parmi les normes et conormes triangulaires, aux opérateurs min et max. Quant à la négation A^c d'un ensemble flou A, elle est caractérisée par :

$$\mu_A c(x)= 1- \mu_A (x)$$

III. 10 Inférence floue :

Elle repose sur l'utilisation d'un opérateur d'implication permettant d'évaluer le degré de vérité d'une règle R de la forme « Si X est A et X_2 Alors Y est B ».

En d'autres termes, cet opérateur quantifie la force de la liaison entre la prémisse et la conclusion de la règle.

Les opérateurs les plus courants en commande sont de type conjonctif

- L'implication de Mamdani (1974) :

$$\mu_R(x,y)= \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \qquad \text{(III.8)}$$

- L'implication de Larsen (1980):

$$\mu_R(x,y)= \mu_A (x). \mu_B (x) \qquad \text{(III.9)}$$

III.11 Agrégation des règles :

Selon le type de l'implication, classique ou conjonctive, l'opérateur utilisé pour agréger les règles est de type conjonctif ou disjonctif. Ainsi, en commande, l'implication étant généralement de type conjonctif, cela revient à considérer que les règles sont liées par un opérateur OU. En pratique, on utilise l'operateur max

$$\mu_B(y)= \max_N(\mu_B . (y)) \qquad \text{(III.10)}$$

III.12 Défuzzification :

La défuzzification consiste à transformer l'ensemble flou résultant de l'agrégation des règles en une grandeur de commande précise. Là aussi il existe plusieurs méthodes, permit lesquelles :

• La méthode de

• Le premier des maximas

• Le dernier des maximas

• La moyenne des maximas

• Le centre de gravité

• Le centre des aires

• Le centre de la plus grande surface

• Le centre des maximas.

les méthodes de défuzzification les plus utilisées en commande floue sont le centre de gravité, le centre des aires et le centre des maximas.

III.13 Dénormalisation :

Cette dernière étape transforme les valeurs normalisées des variables de commande en des valeurs appartenant à leur domaine physique respectif

III.14 Les différents types de la commande à base de la logique floue :

En se basant sur les différentes règles de commande floue et de leurs méthodes de génération, les approches de commande en utilisant la logique floue peuvent être classées dans les catégories suivantes :

- La commande floue de type Mamdani
- La commande floue du type PI ou PID
- La commande neuro-floue
- La commande par mode glissant flou
- La commande floue adaptative
- La commande floue de type T-S.

III.15. Système de stockage d'énergie :

Les deux types de batteries, utilisés le plus couramment, notamment dans les systèmes photovoltaïques, sont les batteries avec accumulateurs au plomb-acide (Pb acide) et les batteries avec accumulateurs au Nikel-cadmium (Ni-Cd). La batterie au plomb-acide est la plus connue, aussi c'est sur celle-ci que notre étude se base.Le circuit sur la figure 4.10 décrit les caractéristiques d'une batterie plomb-acide d'une manière complète, pourtant très simplifiée.

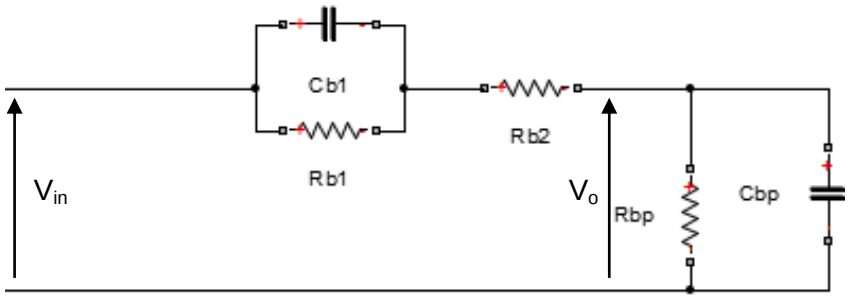


Figure.III.7. Modèle équivalent d'une batterie plomb-acide.

La résistance interne de la batterie est représentée par les deux résistances Rbs et Rb1 en série. La résistance en bloc d'électrolyte et de plaques est représentée par la résistance Rbs, tandis que la résistance Rb1 représente la diffusion d'électrolyte. Ceci représente la tension du circuit ouvert de la batterie dés qu'une charge est reliée, de même on peut observer un saut soudain de tension avec l'application d'un courant de remplissage. C'est le fabriquant qui spécifie les valeurs de ces résistances et capacités.

La décharge spontanée, est représentée par la résistance Rbp parallèle avec le condensateur principal Cbp. Elle est provoquée par électrolyse de l'eau aux tensions élevées et par la fuite lente à travers les bornes de batterie a basse tension [105],la constante de temps est donnée par :$\tau_{b1} = R_{b1}C_{b1}$

L'impédance équivalente d'entrée d'une batterie plomb-acide s'exprime par la fonction de transfert suivante :

$$z(S) = \frac{a_2 S^2 + a_1 S + a_0}{b_2 S^2 + b_1 S + b_0} \quad \text{(III.18)}$$

$$z(p) = Rbs + (Rb1 \| Cb1) + (Rbp \| Cbp) \quad \text{(III.19)}$$

$$Z(s) = Rbs + \frac{Rb1}{Rb1 * Cb1\ S+1} + \frac{Rbp}{Rbp * Cbp\ S+1} \quad \text{(III.20)}$$

Les facteurs a1, a2, b1, b2 et a0 s'expriment en fonction des éléments du circuit de la figure 4.10

- a2=Rbs.Rb1.Rbp.Cb1.Cbp
- a1=Rbs.Rb1.Cb1+Rbs.Rbp.Cbp+Rb1.Rbp.Cbp+Rbp.Rb1.Cb1
- a0=Rbs+Rb1+Rbp
- b2=Rb1RbpCb1Cbp
- b1=Rb1Cb1+RbpCbp
- b0=1

C'est donc un modèle qui décrit assez bien l'ensemble des composantes d'une batterie plomb-acide, mais pas ses caractéristiques lentement changeantes telles la charge et la décharge. Une modélisation plus robuste de la même batterie a été proposée dans la littérature.

III.15.1. Description du modèle :

La structure générale d'une batterie. Elle est représentée par quatre blocs comme :Bloc capacité, bloc de tension, bloc de l'état de charge (SOC), Bloc des pertes par le courant de gazage.

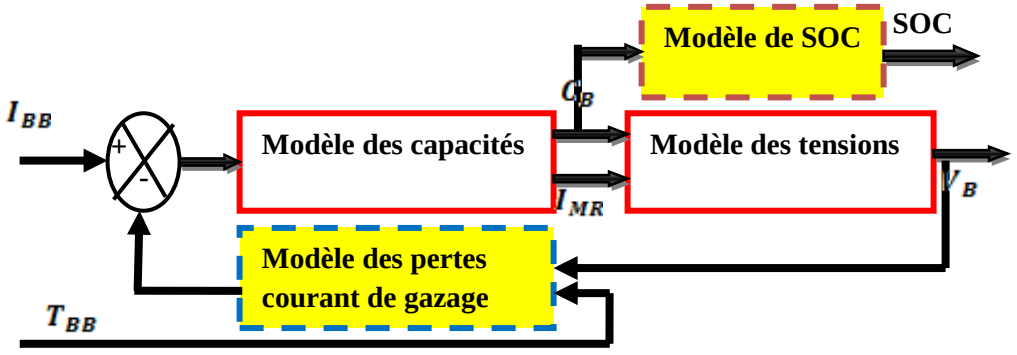


Figure III.8. Schéma de bloc d'une batterie.

D'après le modèle proposé, Le courant principal de réaction de la batterie I_{MR} s'exprime comme suit:

$$\mathrm{I_{MR}}(\mathrm{t}) = \mathrm{I_{BB}}(\mathrm{t}) - \mathrm{I_{GAZ}}(\mathrm{t}) \qquad \text{(III.21)}$$

III.15.2 Modèle de la capacité :

La capacité représente la quantité du courant qui peut être extraite d'une électrode via les « masses actives », c'est-a-dire l'électrolyte et les matériaux actifs des électrodes, sur une décharge, et en pratique, elle dépend du courant, ainsi que de la température.

Le modèle de la capacité est décrit par l'intégrale du courant $\mathrm{I_{MR}}(\mathrm{t})$ pendant un temps déterminé.

$$C_B(t) = \int \mathrm{I_{MR}}(\mathrm{t}) + \mathrm{C_{Bi}}(\mathrm{t})\, dt \qquad \text{(III.22)}$$

$\mathrm{C_{Bi}}(\mathrm{t})$: Capacité initiale de batterie (Ah).

III.15.3. Modèle des pertes par courant de gazéification

Le courant de gazéification de la batterie est donné par l'équation suivante:

$$\mathrm{I_{GAZ}}(\mathrm{t}) = \frac{\mathrm{C_{10}}}{100\mathrm{Ah}}\, \mathrm{I_{GO}} \cdot \mathrm{e}^{[\mathrm{C_V}(\mathrm{V_{ELE}}(\mathrm{t})-2.23)+\mathrm{C_T}(\mathrm{T_{BB}}(\mathrm{t})-20]} \qquad \text{(III.23)}$$

III.15.3.1. Modèle de l'état de charge (ou SOC) :

L'état de charge de la batterie est décrit comme étant le rapport entre la valeur de la capacité de batterie *CB(t)* et la valeur de la capacité de la batterie après un temps de décharge de dix heures $\mathrm{C_{10}}$.

$$SOC(t) = \frac{C_B(t)}{C_{10}} 100\% \qquad \text{(III.24)}$$

Une batterie électrochimique ne peut être exploitée, a sa pleine puissance, sur toute sa plage d'état de charge. Il existe en effet, une zone de travail a privilégier pour la batterie, globalement entre 30 et 70% de l'état de charge qui permet de solliciter la batterie avec des rendements

acceptables. Il en résulte une perte de potentiel considérable qui est fonction de la puissance souhaitée, en d'autres termes de la rapidité de charge ou de décharge [13].

III.15.3.2. Modèle de la tension

La tension est caractérisée par deux processus, la tension de charge et la tension de décharge de la batterie. Pour les distinguer nous utiliserons le *C* comme indice de charge et *D* pour la décharge.

- *Pour la charge* $I_{BB} > 0$

La tension de charge est décrite par l'équation suivante :

$$V_B(t) = E_B(t) - R_{oc} I_{MR}(t) \quad \text{(III.25)}$$

La tension interne de la batterie $E_B(t)$ elle est décrite par l'équation ci-dessous :

$$E_B = E_{OC} + A_C X(t) + \frac{C_C X(t)}{(D_C - X(t))^{EFC}} \quad \text{(III.26)}$$

X(t): Capacité maximum normalisée de charge/décharge.

$$X(t) = \frac{Q_{MAXC}}{Q_{MAX} \cdot (I_{MR}(t))} C_B(t) \quad \text{(III.27)}$$

Q_{MAXC}: Capacité maximale de charge (Ah).

$Q_{MAX} \cdot (I_{MR}(t))$: Capacité maximale de la batterie.

$$Q_{MAX} \cdot (I_{MR}(t)) = C_1 I_{MR}^3(t) + C_2 I_{MR}^2(t) + C_3 I_{MR}^1(t) + C_4 \quad \text{(III.28)}$$

Où les paramètres A_C, C_C, D_C, EFC, C_1, C_2, C_3, C_4 sont relatifs à la batterie (Annexe).

- Pour la décharge $I_{BB} < 0$

La tension de décharge est décrite par l'équation suivante :

$$V_B(t) = E_B(t) - R_{OD} I_{MR}(t) \quad \text{(III.29)}$$

Effectivement, en charge, la résistance interne dépend encore de l'état de charge de l'accumulateur électrochimique. Sa valeur devient d'autant plus importante lorsque nous approchons de la pleine charge.

Et dans un raisonnement à courant constant, il y aura d'autant plus de pertes que nous nous approchons de la pleine charge et le rendement en charge de l'accumulateur sera donc plus faible dans cette zone [24].

$$E_B(t) = E_{OD} + A_D X(t) + \frac{C_D X(t)}{(D_D - X(t))^{EFD}} \quad \text{(III.30)}$$

X(t): Capacité maximum normalisée de charge/décharge.

$$X(t) = \frac{Q_{MAXCD}(Q_{MAXCD} - C_B(t)}{Q_{MAX}.(I_{MR}(t))} \quad \text{(III.31)}$$

Q_{MAXCD}: Capacité maximale de décharge (Ah);$Q_{MAX}.(I_{MR}(t))$: Capacité maximale de la batterie.

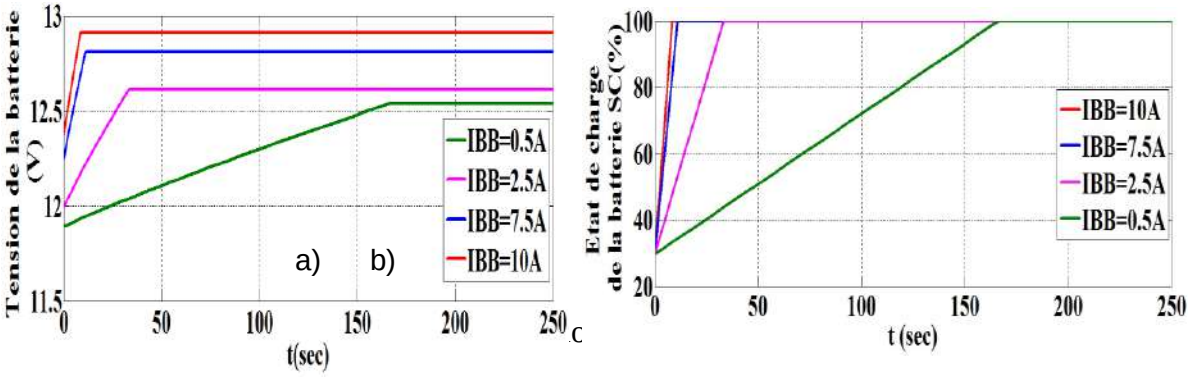
$$Q_{MAX}.(I_{MR}(t)) = D_1 I_{MR}^3(t) + D_2 I_{MR}^2(t) + D_3 I_{MR}^1(t) + D_4 \quad \text{(III.32)}$$

Où les paramètres A_D, C_D, D_D, EFD, D_1, D_2, D_3, D_4 sont relatifs à la batterie voir

L'annexe.

III.21. Résultat de la simulation de stockage :

- **Charge de la batterie: I BB > 0**



- **Décharge de la batterie : IBB < 0 :**

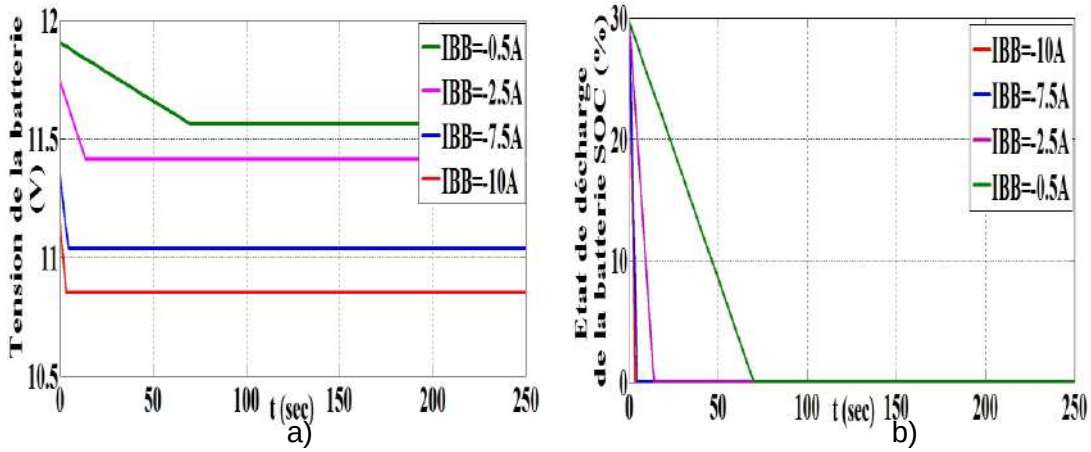


Figure III.9. Comportement de la batterie lors de la décharge.

III.16 :Simulation et interprétation des résultat

On a applique le régulateur PI et Flou dans un simulation matlab pour voir les figures suivants

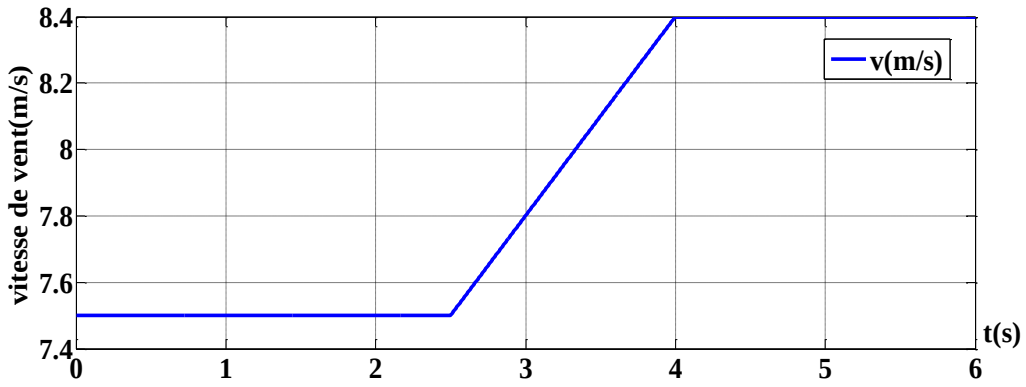


Figure III.10. vitesse de vents

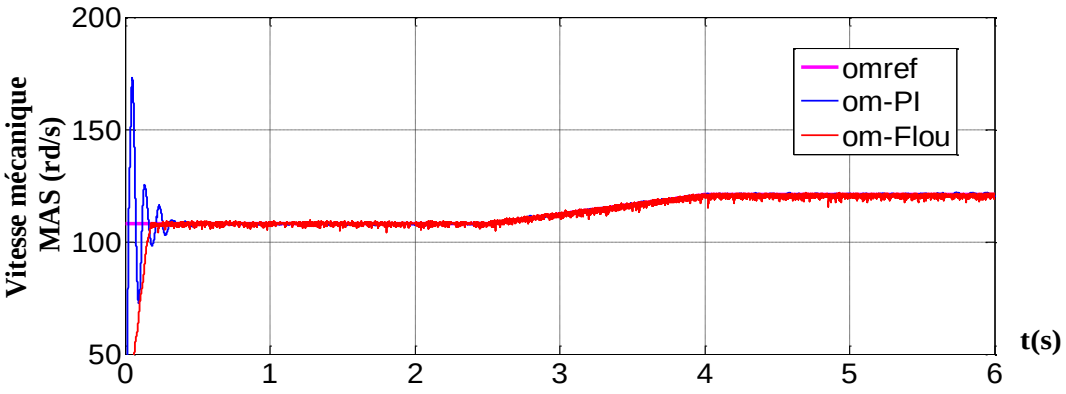


Figure III.11 : vitesse mécanique de la MAS

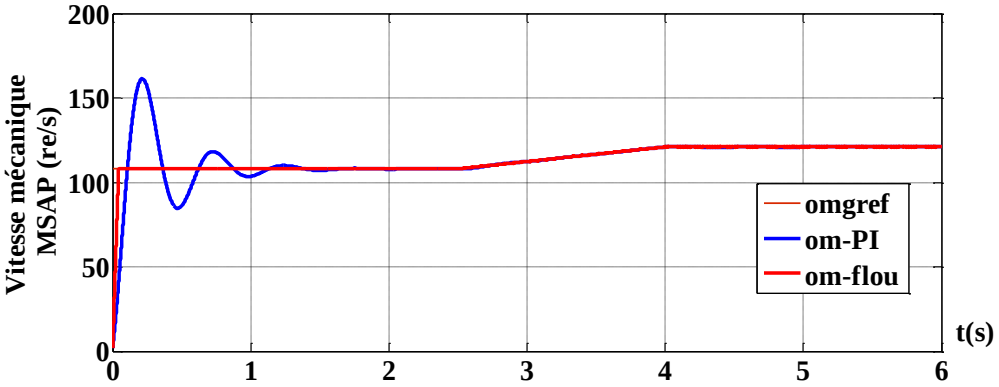


Figure III.12. : vitesse mécanique de la MSAP

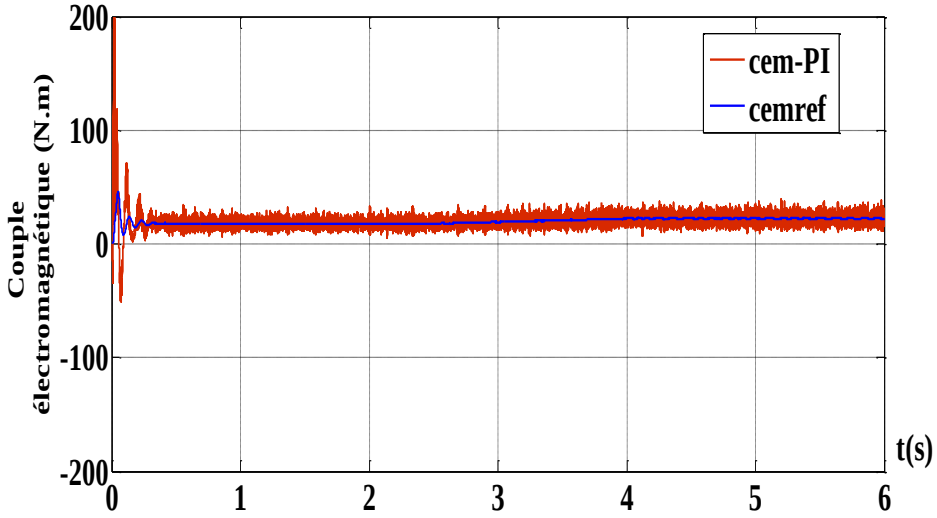


Figure III.13 : couple électromagnétique de la MAS (N.m)

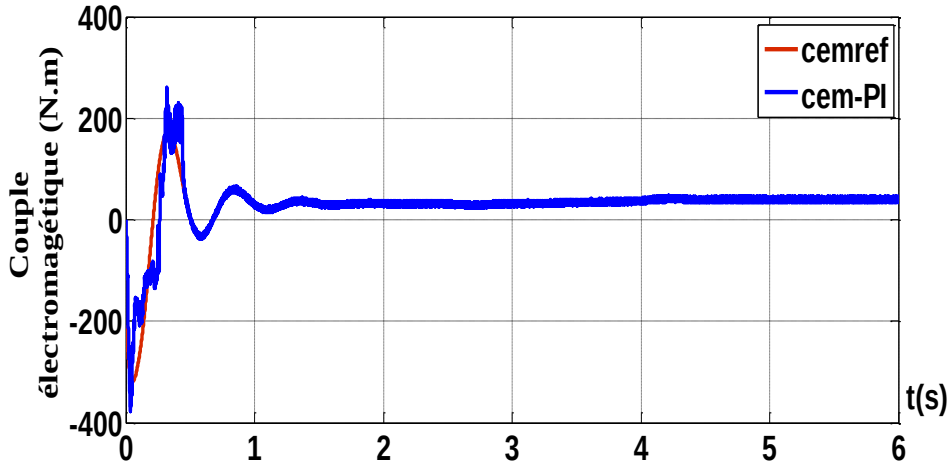


Figure III.14 : couple électromagnétique (N.m)

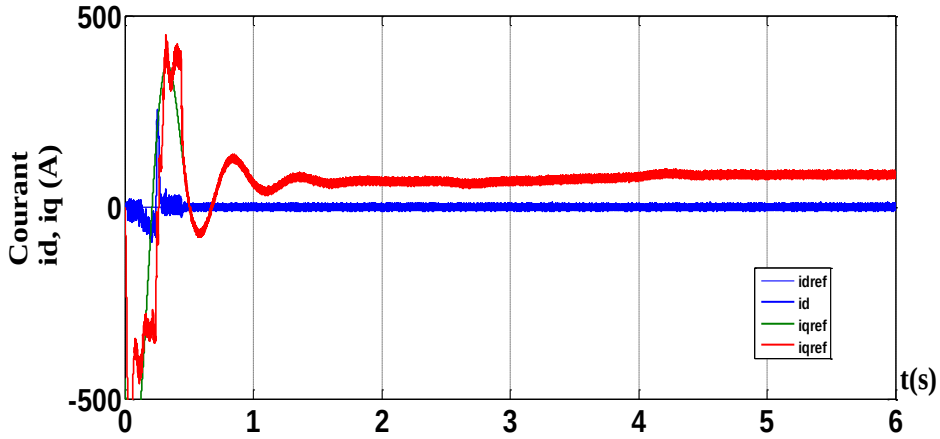


Figure III.15 : Courant id,iq (A)

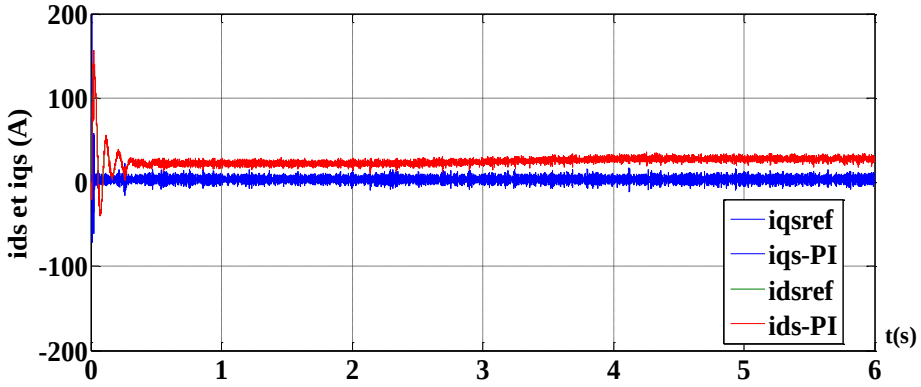


Figure III.16 ids, iqs (A)

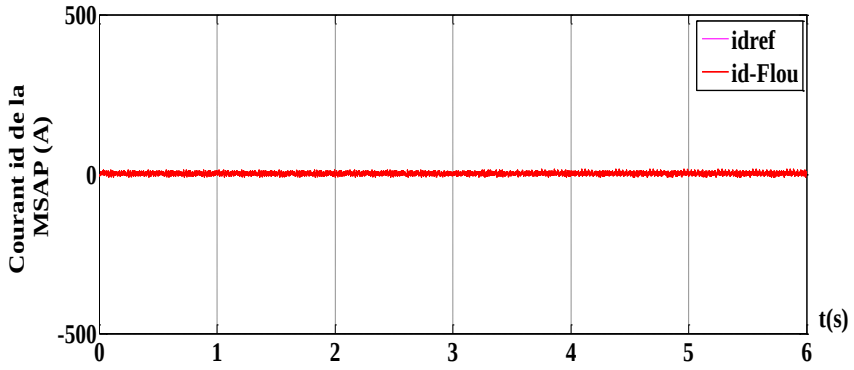


Figure III.17 : Courant Id de la MSAP

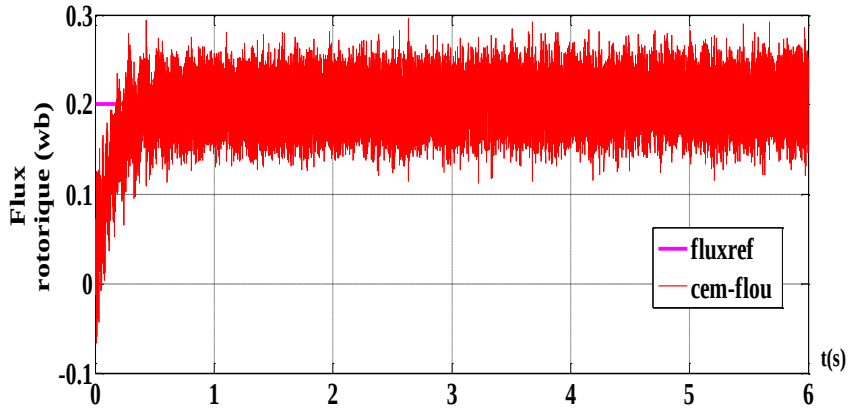


Figure III.18: Flux rotorique (wb)

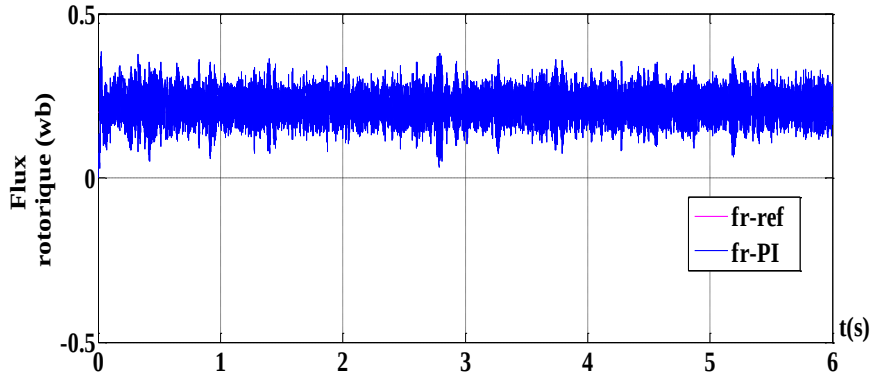


Figure III.19: Flux rotorique (wb)

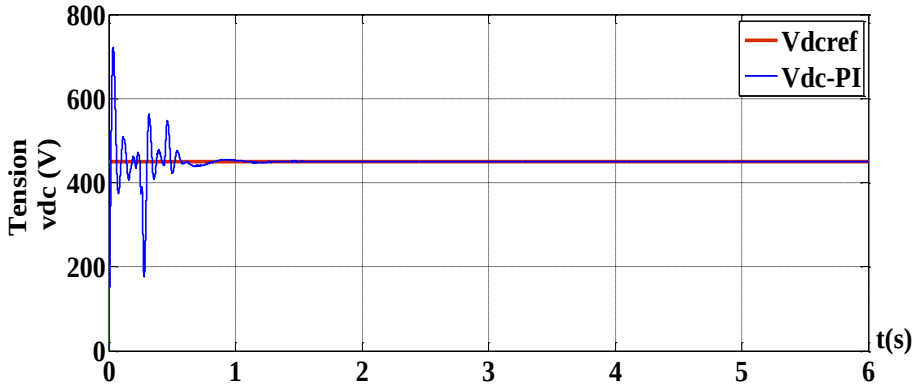


Figure III.20 tension de bus continu Vdc(v)

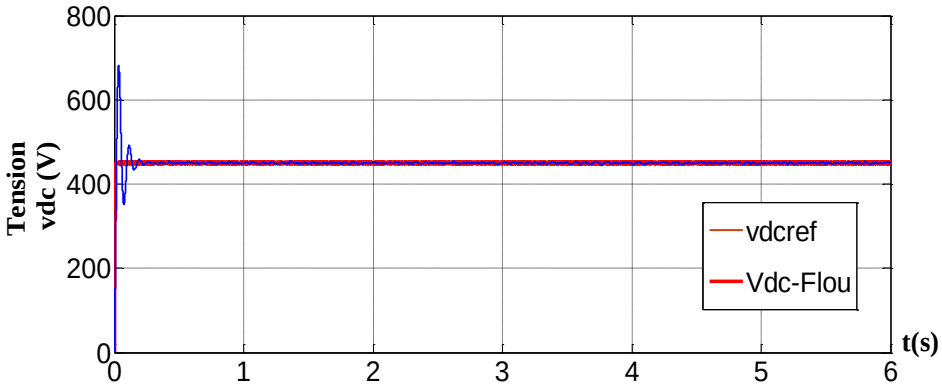


Figure III.21 : Tension de bus continu Vdc

II.17. Interprétation des résultats

Les figures précédentes montrent l'évolution de la vitesse mécanique de la MAS et la MSAP

Presque la même forme, il y a une légère différence avec la PI , le régulateur FLOU est bien suivi sa référence et le régime permanent l'oscillation très faible

Du flux rotorique ,on remarque que le flux est suivi sa référence avec le PI et le FLOU ,ainsi que le couple électromagnétique de la MAS et MSAP mais le temps de réponse avec le régulateur PI est longue avec des oscillations importantes.

le courant de la MSAP et de la MAS et suivi sa référence avec la régulateur PI IL Ya d'oscillation, la tension de bus continu Vdc on remarque le temps de réponse

et rapide avec le régulateur FLOUet il y a un dépassement et des oscillation dans le régime transitoire avec le régulateur PI

III.18 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté la commande de système de pompage à l'aide de convertisseur électronique à commande MLI vectorielle Cette combinaison électrique nous a permis d'exécuter la stratégie de commande conçue à ce système éolien étudié qui était l'extraction du maximum de puissance appelée "MPPT" à l'aide d'un asservissement de vitesse réglée par un correcteur PI

Chapitre IV : simulation de système de pompage éolien avec stockage

IV.1 Introduction

Après avoir modéliser et simuler indépendamment les chaines de conversion d'énergie éolien dans se chapitre on va simulé notre système de pompage éolien complet. Pour assurer une alimentation continue de notre charge quelque soit les conditions météorologique. Un bon dimensionnement s'avère important pour un bon fonctionnement et une bonne exploitation du système de pompage, car l'efficacité de toute installation électrique dépond essentiellement de la rigueur de son dimensionnement et influe directement sur le cout et les performances de l'installation

IV.2 Modèle global du système

Le système de pompage est connecté au générateur éolien tout en appliquant une vitesse de vent variable. La chaîne de conversion éolienne (figure IV.1) est composée d'une turbine éolienne contrôlé en MPPT couplé à une génératrice synchrone a aimant permanant, associée à un redresseur, et un onduleur alimentant un groupe motopompe. L'objectif de cette simulation est calcul les paramètres d'une pompe centrifuge suivant le nombre d'un petit village, ona besoin une puissance de 3.6 kw pour satisfait le besoin d'eau, alors on a obtenu les paramètres du réservoir suivant: la section $50m^2$, un hauteur de 4m et le début correspond est $200m3m^3$ /j.

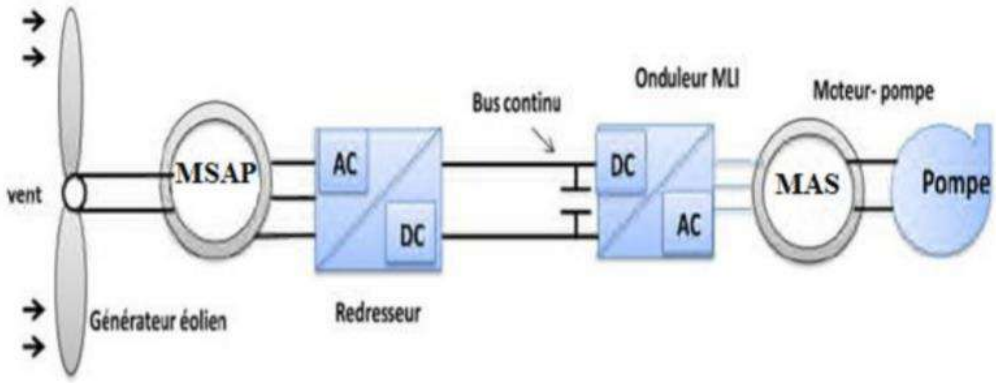


Figure (IV.1): Synoptique du système de pompage global.

VI.2.1 Etapes de dimensionnement d'un système de pompage [54]

- ✓ Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du¬ moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et

est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C' est pourquoi ces pompes
sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau.

- ✓ La pompe centrifuge est conçue pour une HMT relativement fixe. Le débit d'eau de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de la vitesse; et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. La puissance consommée, proportionnelle à Q*HMT, variera donc dans le rapport du cube de la vitesse. On utilise habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres). Une comparaison a été faite entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques par [55]. Il ressort de cette étude que:
- ✓ Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée¬ centrifuge est généralement la plus efficace. Mais son rendement est étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique.
- ✓ Pour les HMT supérieures à 35 mètres et de faibles débits journaliers «20 m 3), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée. Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.

Il est donc important de bien faire le dimensionnement de la pompe selon les conditions du terrain. En d'autres mots, une pompe doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation dans laquelle on doit l'installer. Les données suivantes seront nécessaires pour dimensionner la pompe: débit d'eau (Q) et hauteur manométrique totale (HMT).

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Autrement dit, c'est la somme de la hauteur géométrique dans les niveaux du liquide et les pertes de charges causées par de frottements intérieurs qui se forment.

au passage du liquide dans les tuyaux, dans la pompe et dans les accessoires hydrauliques. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

HMT = Hg+ Δ(m colonne de liquide)

Hg= Hauteur géométrique à l'aspiration (Hga) + Hauteur géométrique au refoulement (Hgr)

Δ*H*= la Somme des pertes de charge dans l'installation (pertes linéaires et singulières) calculé selon les éléments suivants:

- Diamètre, longueur et matériel composant les tuyaux d'aspiration et de¬ refoulement (Annexe B: voir table N° 1);
- Quantité et type des coudes dans la tuyauterie et accessoires hydrauliques comme clapet de pied avec crépine, vannes, clapet anti-retour, filtres éventuels (Annexe B : voir table N°2)
- Nature du liquide (si différent de l'eau), température, viscosité et densité.

Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à 10 % de la hauteur géométrique totale (Hg) [55].

V.2.2 Analyse des besoins set des conditions d'exploitation :

L'analyse des besoins et des conditions d'exploitation doit permettre de déterminer la puissance et le type de pompe choisie pour la situation donnée [55]

Il y'a trois paramètres techniques qui délimitent l'évaluation d'une pompe. Afin d'obtenir l'évaluation la plus exacte possible, il est essentiel que ces trois paramètres soient estimés le plus précisément possible. Ces trois paramètres sont :

- La quantité d'eau requise par jour
- La disponibilité de l'eau
- Les ressources éoliennes

L'évaluation de la quantité d'eau requise et la disponibilité de l'eau sont parfois difficiles à estimer et varient souvent de saison en saison et d'année en année. Les facteurs comme l'accroissement d'une population dans un ferme et un niveau dynamique variable du puits ou du forage, selon le débit et les saisons, compliquent ce qui au premier abord peut paraître simple.

IV.2.2.1 Estimation des besoins en eau et dimensionnement de la pompe

La boisson, la cuisine, la lessive et la toilette constituent les principaux usages de l'eau pour les besoins humains. Les animaux aussi ont besoin d'eau pour leur survie. La demande en eau est également primordiale dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie, quelle qu'en soit leur ampleur.

L'estimation des besoins en eau et le dimensionnement du système de pompage sont détaillés ci-dessous.

Fiche de dimensionnement : Estimation de la charge Choisir ou définir la charge, c‟est-à-dire déterminer le débit requis et la HMT.

- Pour obtenir le débit, il faut déterminer les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- Pour obtenir la HMT il faut mesurer le niveau statique, le rabattement maximal, la hauteur du réservoir et les pertes de charge dues à la tuyauterie.

Les besoins en eau pour l'irrigation dépendent du type de cultures, des facteurs météorologiques et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur

La pratique et l'expérience locale.

Np : Nombre moyen des personnes pour chaque famille.

Nf : Nombre de familles .

Qp : Consommation moyenne d’eau quotidienne pour une personne.

Qan : Quantité moyenne d’eau destinée pour la consommation les animaux du ferme

Qirr : Quantité moyenne d‟eau destinée pour l’rrigation .

Mais la taille maximale du réservoir est calculée comme suit:

$Ntotal = NP * NF = 56 \Longrightarrow$ QF = QP *$Ntotal$ =2.8m3 /J

Q (besoin) = QF + Qan + Qirr $\Longrightarrow$ Q = 192.8m3 /$J \approx 200m3$ /j

Les tableaux (IV.1) et (IV.2) suivants présentent respectivement les besoins en eau journaliers de l'installation de pompage et la hauteur manométrique totale.

Tableau (IV.1): Détermination des besoins en eau journaliers de l'installation de pompage

<table>
<tr><td colspan="5">Dibit</td></tr>
<tr><td colspan="5">Irrigation</td></tr>
<tr><td>Type cultures à l’échel d’une ferme</td><td>Surface (hectare)
3</td><td>m 3 /jours/hectare
60</td><td colspan="2">Totale
180m^3 /jours</td></tr>
<tr><td colspan="5">Eau domestique</td></tr>
<tr><td>Np
7</td><td>Nf
8</td><td colspan="2">QP
litres/personne
50litres/jours/personne</td><td>Totale
2.8m3 /jours</td></tr>
<tr><td colspan="4">Eau annimaux</td><td>10m^3/jours</td></tr>
<tr><td colspan="4">Total</td><td>192.8m^3/jours</td></tr>
</table>

Tableau (IV.2): Détermination de la hauteur manométrique totale (HMT)

HMT			
Hauteur géométrique à l'aspiration	Hauteur géométrique au refoulement	Pertes tuyauterie	HMT
H_{ga} 7	H_{gr} 7	PC% 10	(Hga+Hgr)(1+PC) 15.4

D'après les tableaux IV.1 et IV.2, pour 3 hectares de terre agricole et 56 personnes, les besoins en eau de l'installation considérée sont estimés à 200 m 3 /jours, et la HMT est estimée à 15.4 mètres.

Pour déterminer la quantité d'eau nécessaire au système de pompage, il est important de connaitre l'efficacité du système d'irrigation. Ilya a trois modes de distribution de l'eau [56]:

- une distribution gravitaire ou de surface: L'objectif est de pouvoir inonder rapidement toute la surface sur une même hauteur.
- une distribution par aspersion: ce système arrose les plantes grâce à une pluie artificielle. L'eau sous pression est amenée à la parcelle par des canalisations. L'aspersion est réalisée grâce à des asperseurs rotatifs;
- une distribution localisée ou goutte à goutte: l'irrigation localisée ou goutte à gouttent arrose qu'une fraction du sol à partir de goutteurs ou de perforations dans une conduite sous pression.

IV.3 Choix de la pompe centrifuge :

Après avoir établi les valeurs de débit Q et de la hauteur manométrique totale HMT de l'installation, Pour déterminer la puissance hydraulique requise de la pompe, il faut appliquer l'équation suivant :

$$PH = \rho\ g\ HMT\ Q \qquad (IV.1)$$

Les donnés de la pompe sont comme suit :

En supposant que le système de pompage fonctionne 3 heurs par jour, on aura un débit de 200$m3\ /J$ .donc Q=66.67 m 3 /h=0.0185$m3\ /s$ La hauteur manométrique totale H de la pompe doit atteindre est donc : H=15.4m

ρ : C'est la densité du liquide (pour l'eau =1000 $Kg/m3$) ;

g: l'accélération de pesanteur (g=9.81m/s^{2}) ;

Considérant ces paramètres à évaluant l'"équation (IV.1), on obtient :

$$PH = 1000 * 9.81 * 15.4 * 0.0185 = 2.8KW$$

Le rendement η de la pompe est 78% (pompe NM4 125/250 CALPEDA) ; n=1450tr/min

$$\eta = PH / Pméc \qquad (IV.2)$$

$$Pméc = PH / \eta = 2.8 / 0.78 = 3.6\ KW$$

IV.4 Dimensionnement et modélisation du réservoir de stockage d'eau

V.4.1 Dimensionnement du reservoir:

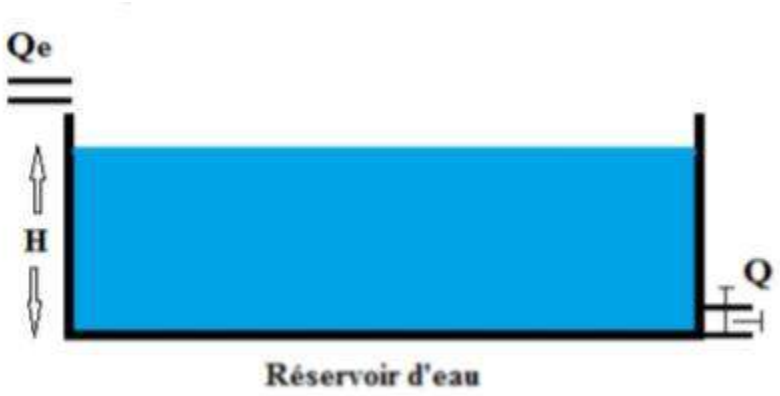
Le concepteur devra déterminer la dimension optimale du réservoir d'eau non seulement selon la durée anticipée de stockage pour pallier les variations journalières, mais aussi et surtout selon les besoins des utilisateurs et, bien sûr, selon le coût du système de stockage. Le dimensionnement du réservoir repose donc sur un certain nombre de facteurs qu'il faudra avoir évalués au préalable:

- Lorsque la pompe est au fil du soleil, le réservoir doit pouvoir stocker¬ l'eau nécessaire pour la journée, ou au moins pouvoir stocker l'eau fournie par la pompe.

- Le réservoir peut permettre de tirer l'eau de façon constante afin de maximiser le débit du forage ou du puits, surtout en période sèche.
- Le réservoir doit permettre une certaine autonomie durant les journées peu ensoleillées.

La taille du réservoir solaire dépend du nombre de personnes et de la consommation d'eau par personne et par jour. Le débit journalier requis pour ce système de pompage est de 200 m3 par jour. Avec une hauteur d'eau de 4m

Il faut signaler que la hauteur du réservoir doit être supérieure à 4 m. C'est-àdire qu'on doit laisser un écart entre le niveau maximum de l'eau et la partie supérieure du réservoir (figure IV.2).



Figure(IV.2): Réservoir de stockage d'eau

IV.4.2 Modélisation du reservoir:

Sur la figure(IV.2), on constate que l'eau entre dans le réservoir par le haut avec un débit Qe fourni par la pompe et elle sorte par le bas à travers une valve avec un débit Qs .

Le débit Qs à la sortie du réservoir est considéré comme une perturbation et dépend essentiellement de la consommation d'eau. L'équation différentielle permettant de trouver la hauteur h du liquide dans le réservoir est donnée par

$$dV\ dt = S\ dH\ dt = Qe - Q\text{\textcircled{?}}$$

IV.5. Simulation et interprétation des résultats :

La commande vectorielle est appliquée à la machine synchrone à aimant permanant à un vitesse de vent variable (de 4.5à8.5).Les résultat de simulation obtenue sur les figure en utilisant le régulateur PI _FLOU

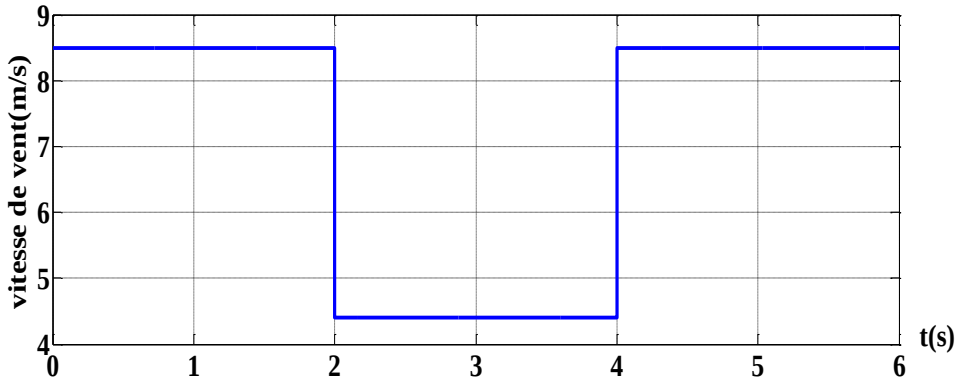


Figure IV.1: Profile de vitesse du vent

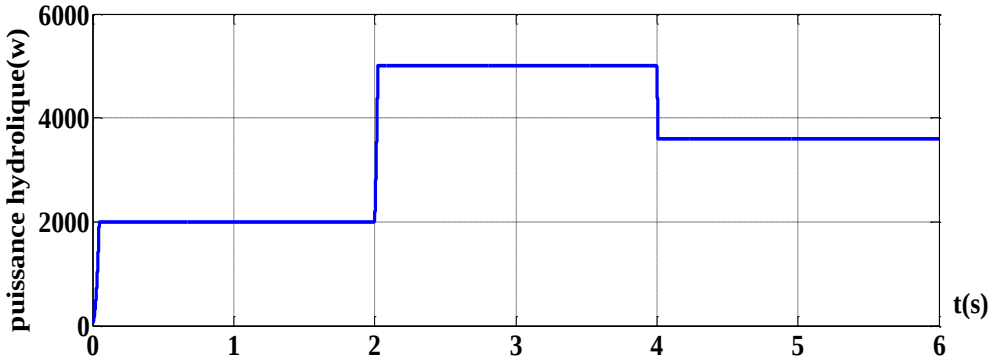


Figure IV.2: puissance hydraulique

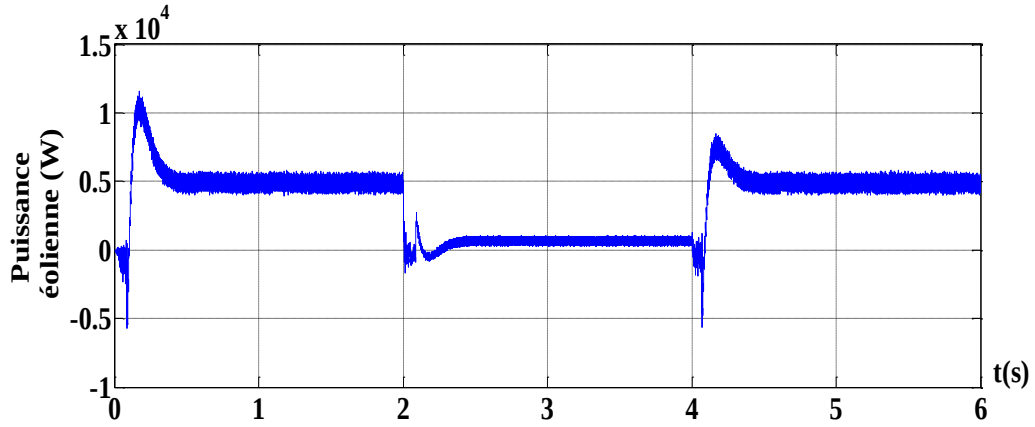


Figure IV.3 : Puissance éolienne

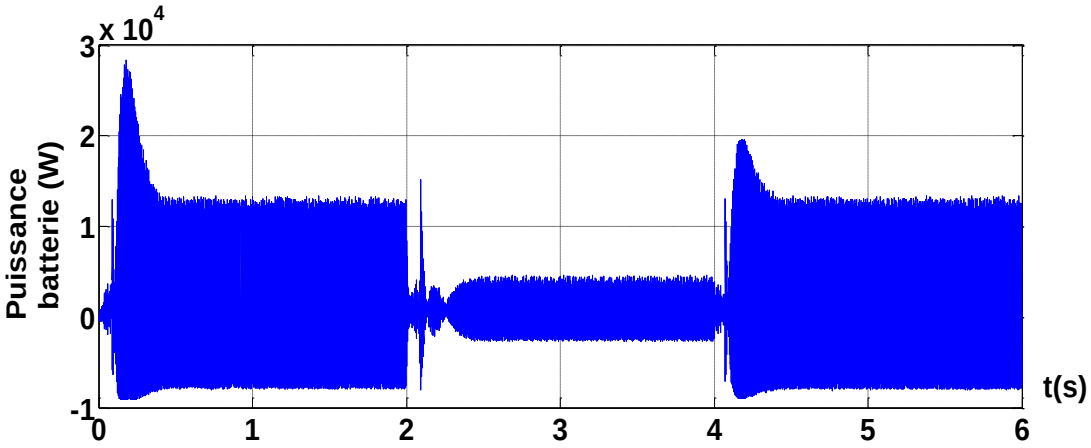


Figure VI.4 puissance batterie

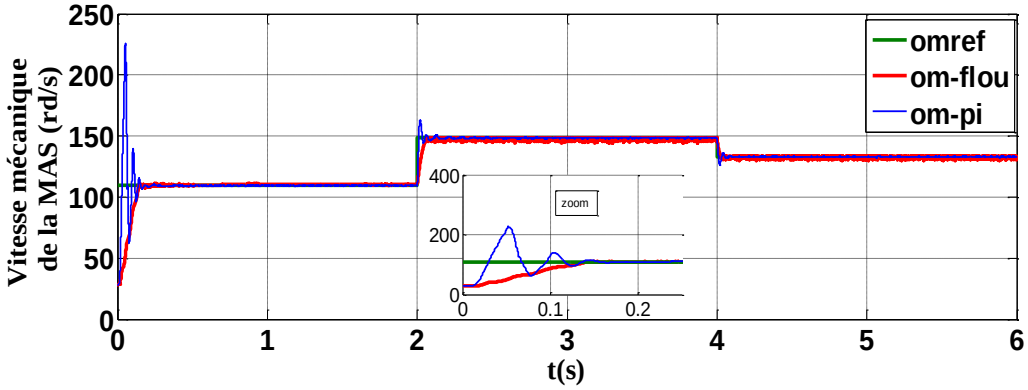


Figure IV.5 : vitesse mécanique de la MAS

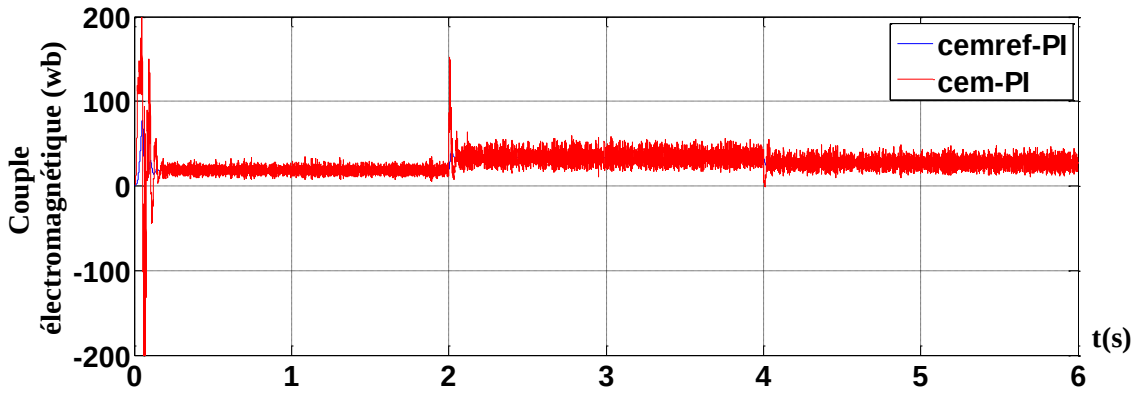


Figure IV.6 : Couple électromagnétique

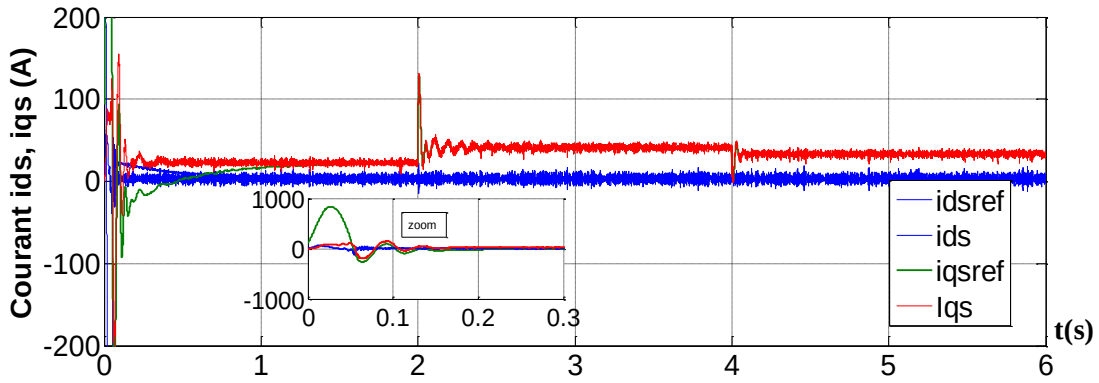


Figure IV.7 : courant de phase statorique ids,iqs (PI)

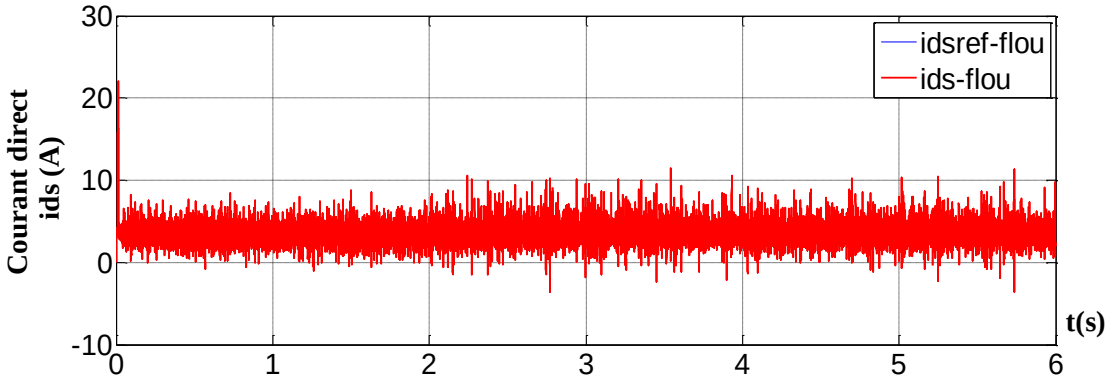


Figure IV.8 : courant direct(A)

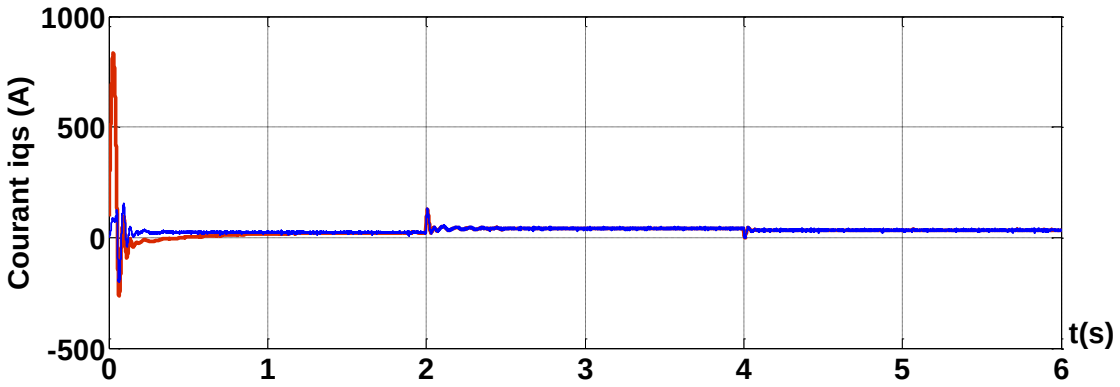


Figure IV.9 courant direct(A)

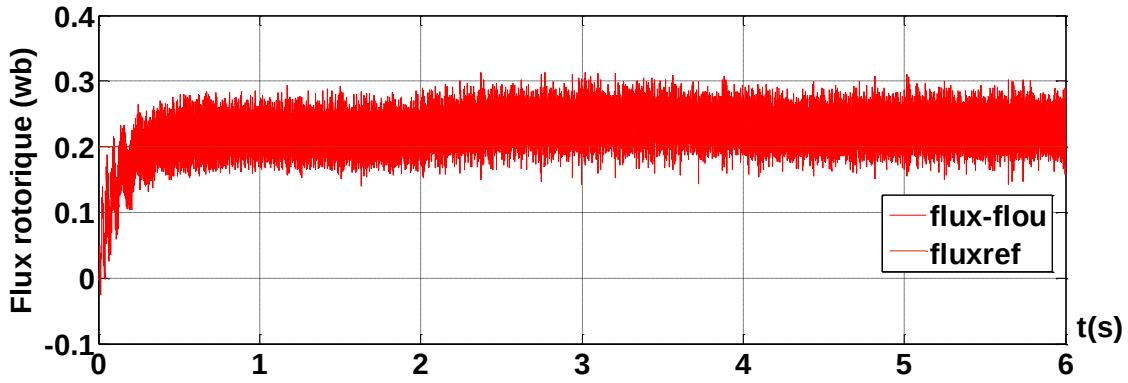


Figure VI.10 : flux rotorique (wb)

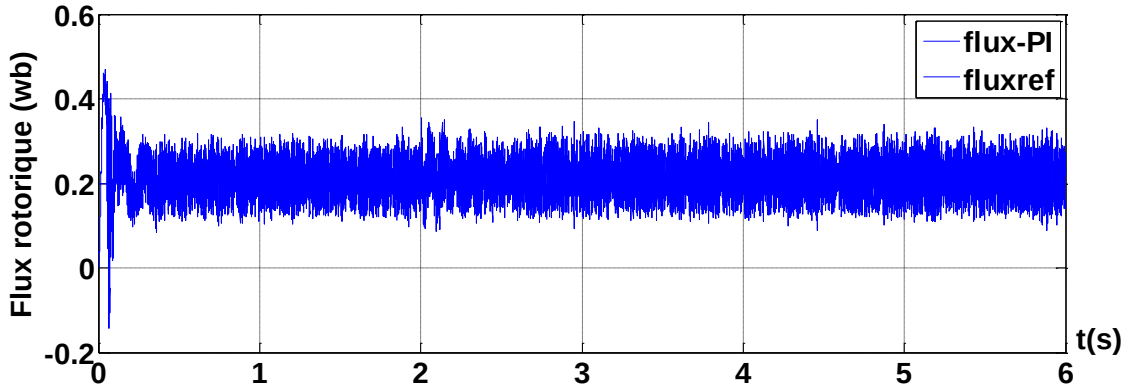


Figure VI.11 : flux rotorique (wb)

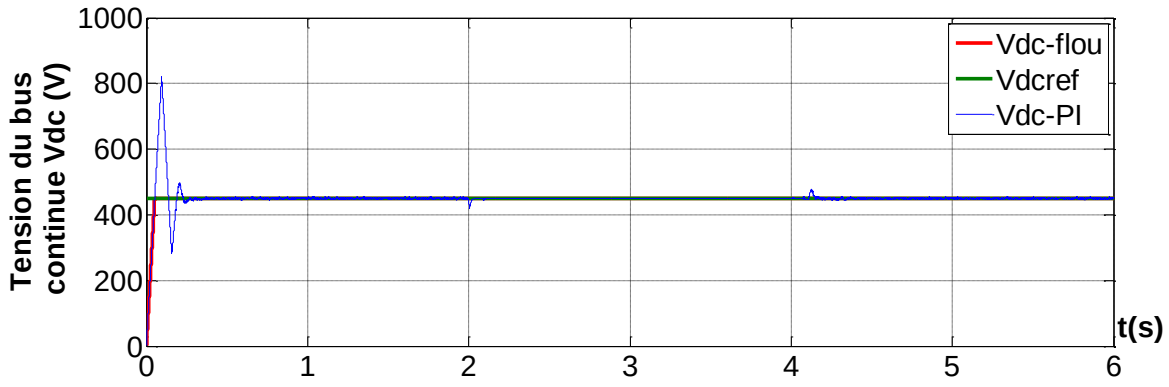


Figure VI.12 : la tension de bus continu Vdc(v)

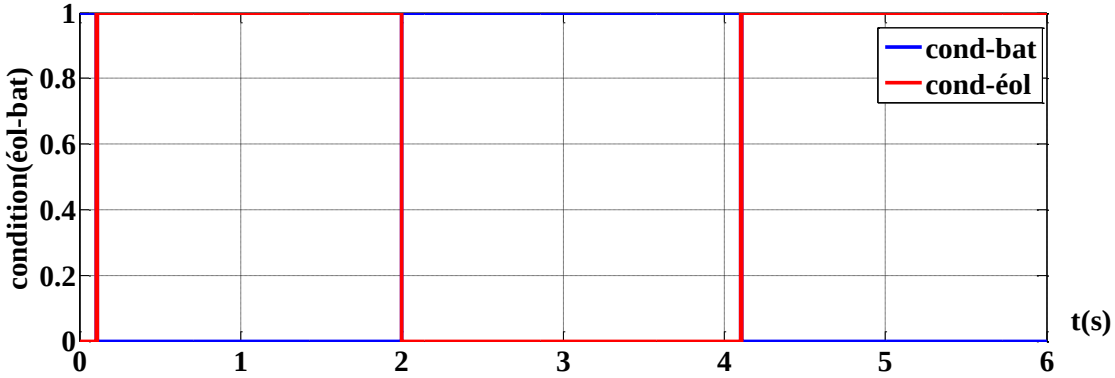


Figure VI.13 : condition éolienne-batterie

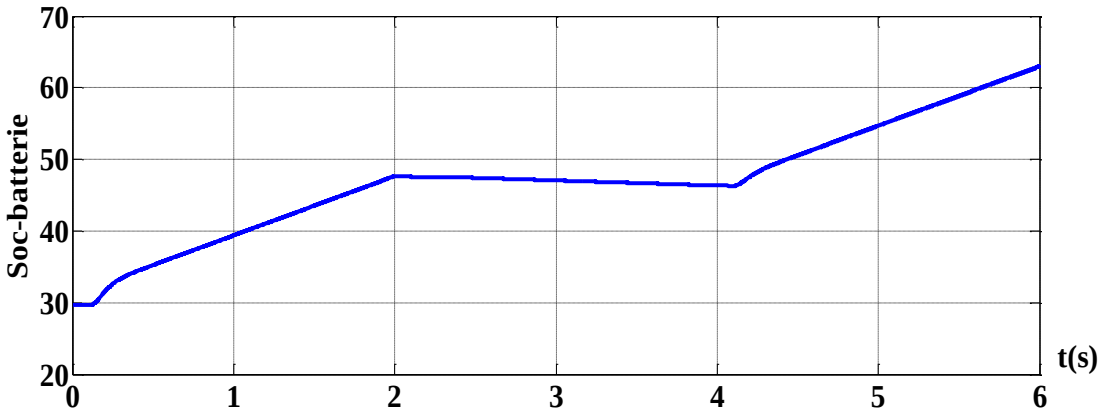


Figure VI.14 : Soc batterie

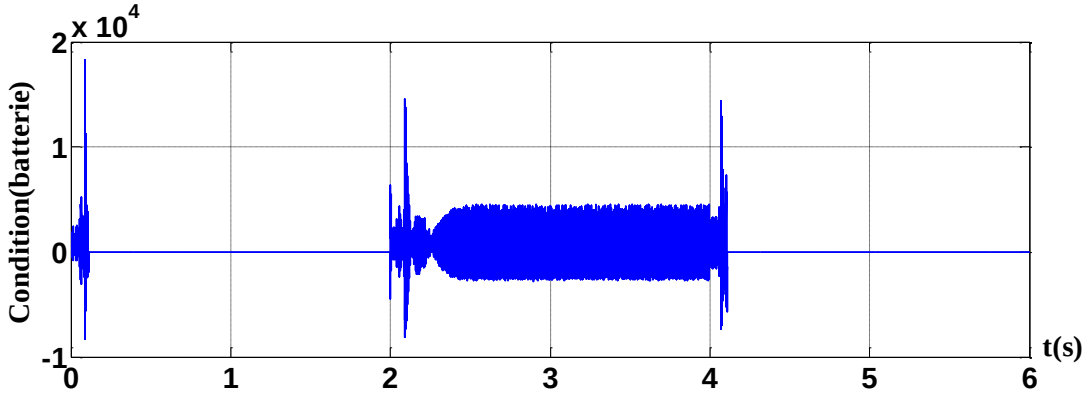


Figure VI.15 condition batterie

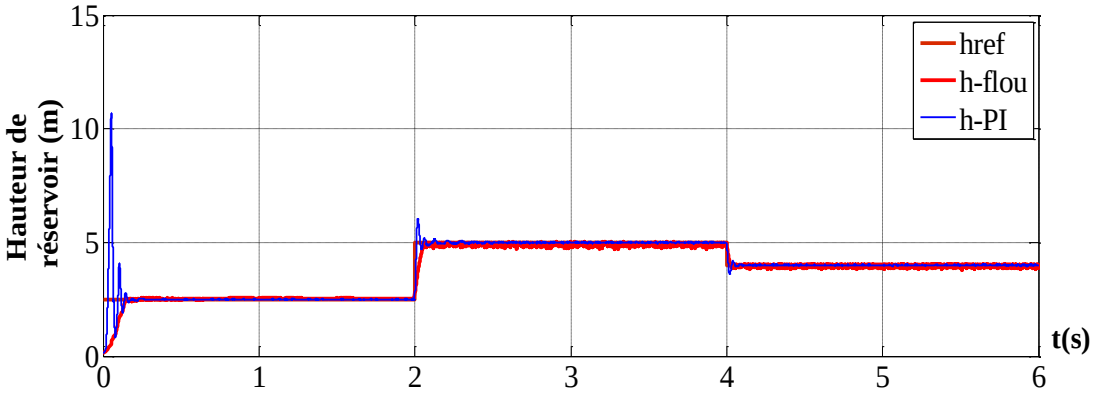


Figure VI.16 : Hauteur de réservoir(m)

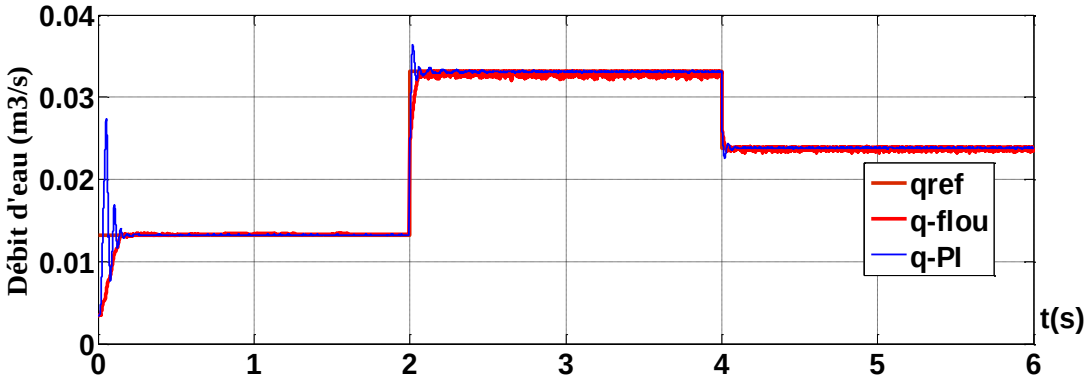


Figure VI.17 : débit d'eau (m^3/s)

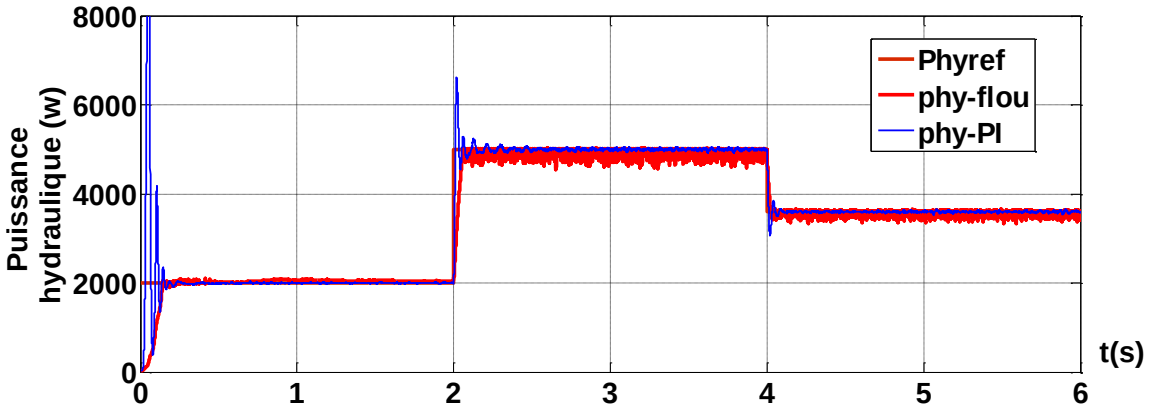


Figure VI.18 : puissance hydraulique (w)

IV.6.Interpretation des résultats

- Figure VI (2.3.4) la puissance hydraulique tend a suivre la puissance éolienne afin que la puissance batterie et égale a celle optimal
- Les puissances hydraulique et éolienne et batterie est n'a pas la même forme.
- Figure VI (5.6.7) d'après les résultats de la puissance et la vitesse mécanique et le couple électromagnétique référence et flou et PI on peut remarquer la robustesse de la commande, Et les bons résultats obtenus par logique flou
- Les figures (8.9.10) de courant ids, iqs et aussi le courant direct (A) et suivre le courant iqs (A) montre clairement les bonnes performances de l'application de l'intelligence artificielle, le courant assuré, ainsi que nous avons une très bonne réponse en logique flou
- D'après les résultats des figures VI (11.1 on remarque que le flux est bien régulé et suit sa valeur de référence, et les allures des courant direct ids et en quadrature iqs. Les deux courants sont régulés indépendamment l'un de l'autre. L'évolution du courant ids est similaire à celle du flux, et l'évolution du courant iqs est similaire à celle du couple. Pour Le courant de la machine est bien sinusoïdal.
- Figure VI (13) la tension du bus continu on remarque que la tention de la pompe suit sa référence qui est presque l'image de tention en logique flou et le régulateur PI juste en logique Flou plus proche.
- La figure VI (14) représente la condition éolienne-batterie on remarque la condition éolienne contre la condition batterie.

- Figure VI (15) Soc Batterie on remarque [0s a 2s]le soc de batterie est augmenté
- [2s à 4s] le soc Batterie est impermanent, [4s à 6s] on remarque que augmenté.
- Figure VI (16) présenté la condition (batterie) elle a 3 régimes 2 régimes impermanent [0s à 2s] et [4s à 6s] et un régime oscillatoire [2s à 4s].
- On remarque dans les figures VI (17.18) Hauteur de réservoir et débit d'eau le temps de répence à logique floue plus rapide par à port a régulateur PI .

IV.7.Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons dimensionné le système de pompage éolienne et étudié une structure de commande utilisant à la fois le concept de la méthode du flux orienté pour la machine asynchrone et le fonctionnement en MPPT pour l"adaptateur de puissance. La stratégie de commande vectorielle par orientation du flux rotorique a servi ici comme une solution pour contrôler le débit et la hauteur manométrique totale de la station de pompage

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Générale Le travail présenté dans notre mémoire concerne d4une façon générale l4étude et la modélisation, puis la simulation d'un système de pompage dans l'environnement de programmation de MATLAB /SIMULINK et SIMPOWER à partir d'une ressource renouvelable (énergie éolienne). À savoir s'agit d'une contribution à l'optimisation de l'ensemble composé de: génératrice synchrone à aimant permanant, redresseur, l'onduleur et le groupe motopompe. Le choix du moteur électrique dépend en général du type de la charge à entraîner qui est dans notre cas la pompe. Les caractéristiques des pompes centrifuges sont particulièrement intéressantes dans le cadre de l'utilisation de la turbine éolienne. Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur le système éolien, et donné un aperçu sur les différentes combinaisons et une brève description du système de pompage éolien, puis nous avons cité ces avantages et inconvénients, les différents types de convertisseurs et de groupe motopompe utilisés puis on a illustré un schéma globale du système a étudié. Le deuxième chapitre a été consacré à la modélisation des différents éléments de la chaine de conversion d‟énergie éolienne, qui est composée d'une turbine éolienne, une génératrice synchrone a aiment permanant. La modélisation des différents convertisseurs utilisés ainsi que le groupe moteur-pompe, qui est composé d'un moteur asynchrone et d'une pompe centrifuge. Le troisième chapitre on a présenté la commande vectorielle de système de pompage à l'aide de convertisseur électronique à commande MLI vectorielle Cette combinaison électrique nous a permis d'exécuter la stratégie de commande conçue à ce système éolien étudié qui était l'extraction du maximum de puissance appelée "MPPT" à l'aide d'un asservissement de vitesse réglée par un correcteur PI. Nous terminerons par le quatrième chapitre qui sera basé sur la représentation des résultats de simulation du système étudié avec l‟application de la commande au groupe motopompe.

Les résultats de simulation ont montré l'évolution de tous les paramètres de chaque sous ensemble aussi bien que le système entier.

Comme perspective, nous souhaitons que notre travail trouvera une continuité de recherche et application notre commande sur le terrain réelle avec des nouveaux commandes plus performant et robuste comme des techniques de l'intelligence artificielles.

Bibliographique

Bibliographie

[1] S.Belakehal ;« Commande des Machines à Aimants Permanents dédiées Aux Energies renouvelables », Thèse de doctorat, Université, Constantine, 2010.

[2] A. Abdelli « Optimisation Multicritère d'une Chaîne Eolienne Passive » Thèse de doctorat, Université de Bejaia, 2007.

[3] A.Guettaf « Optimisation Floue- Génétique d'un Système de Pompage Eolien », Thèse de doctorat, Université de Biskra, 2013.

[4] Arnaud Davigny, 'Participation aux services système de fermes d'éoliennes à vitesse variable intégrant du stockage inertiel d'énergie', Thèse de doctorat de l'université des sciences et technologies de Lille, 11 décembre 2007.]

[5] Frédéric Poitiers, 'Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne :

- Machine asynchrone à cage autonome.
- Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau .

Thèse de doctorat de l'université de Nantes, France 2003.

[6] G.CUNTY, « Eoliennes et aérogénérateurs, guide de l"énergie éolienne », Edissud , Aixen-Provence, 2001, www.edisud.com

[7] http://www.windpower.org/fr/tour/wtrb/comp/index .htm : Danish Wind Industry Association, 2010.

[8] B.Multon,X.Roboam, B.Dakyo, C.Nichita, O. Gergaud et H.Ben Ahmed, " Aérogénérateurs électriques," Techniques de l'ingénieur, D 3960, 2004.

[9] NAOUEL HAMDI, « Modélisation et commande des génératrices Éolienne », mémoire de magister en électrotechnique, université MENTOURI de Constantine, 24/01/2008

[10] Energie éolienne,Théorie, conception et calcul pratique des installations, Désiré Le Gourières, Edition EYROLLES, 1980.

[11] N. Laverdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, “Technologie des Systèmes éoliens – intégration dans les réseaux électriques”, la Revue3EL, no. 39, 2004

[12] L. Leclerq « Apport de stockage inertiel associé à des éoliennes dans Un réseau électrique en vue d’assurer des services systèmes » thèse de Doctorat, université des sciences et technologies de Lille, France, 2004.

[13] A.Tamaarat « Modélisation et commande d’un système de Conversion d‟énergie éolienne à base d’une MADA » thèse doctorat Université Mohamed Khider de Biskra, 2005.

[14] Annane Adel « Analyse du comportement du moteur synchrone dans les Entraînements électriques à vitesse variable » thème magister en Électrotechnique, Université BADJI MOKHTAR- ANNABA, Faculté Des:Sciences de l‟ingenieur Departement d‟electromecanique 2009/2010

[15] A,F Jawad « Etude du problème inverse en électromagnétisme en vue de La Localisation des défauts de désaimantation dans les actionneurs à Aimants Permanents ». Thèse de Doctorat l‟Université de technologie De Belfort- Montbéliard, 05 décembre 2008.

[16] K. Azeddine « Etude d‟une commande non- lineaire adaptative d‟une Machine synchrone à aimants permanents », Ph, Québec, Canada, 2000

[17] Toufik Rekioua « contribution à la modélisation et à la commande Vectorielle Des machines synchrones à aimants permanents ≫Doctorat De l’I.N.P.L, Institut national de polytechnique de lorraine 1991

[18] Abdellauoi Hassina « etude experimentale de la position rotorique d’un Moteur synchrone a aimant permanent par variable électrique ».Mémoire De Magister en électrotechnique université de Mouloud Mammeri Tizi- Ouzou

[19] M.N.Mechalikh et C.Hamada, “ Modélisation et simulation d'un système Photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau,”Mémoire, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2013. [20] L.Zarour,“Etude technique d‟un système d‟énergie hybride photovoltaïque-Éolien Hors réseau,” Thèse doctorat, Université Mentouri Constantine, Juin, 2010.

[21] H.Ibrahim, A.Ilinca and 1. Perron, Investigations des différentes Alternatives Renouvelables et hybrides pour l'électrification des sites Isolés,Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne LREE-03- Septembre 2008.

[22] M.Chadel« dimensionnement d'un système de pompage d‟eau potable Pour les sites de Tlemcen et Adrar » université de Tlemcen, 2012.

[23] A.El Khabote et A.Wardi, J.P.Compte.« Problématique de l‟alimentation En eau des populations rurales au Maroc, 2012 »

[24] A.Guettaf «Optimisation floue-Génétique d‟un système de pompage Éolien », Thèse de doctorat, Université de Biskra, 2013

[25] N.Kasbadji Merzouk, M. Merzouk «Perspectives du pompage éolien en Algérie», Colloque CIRESS, 12-13 Decembre 2005, Ouargla

[26] KY. Thierry, S.Maurice « système photovoltaïque dimensionnement pour Pompage d‟eau, pour une irrigation goute a goute », Mémoire de DEA en Physique appliqué, université d'Ouagadougou, 2010. [27] B.Equer « le pompage photovoltaïque manuelle de cours », Energie Solaire Photovoltaïque Edition ellipses 1993 [28] J.Royer, T.Djianko, E.Schiller, B.sada Sy « le pompage photovoltaïque » Manuelle de cours à l' intention des ingénieurs et des techniciens Bibliothèque nationale du canada, 1998

[29] A. Abdelli « Optimisation multicritère d'une chaine éolienne passive », Thèse de doctorat, 2007

[30] lonel Vechiu, Modélisation et analyse de l'intégration des énergies rénouvelables dans un réseau autonome, 2005.

[31] Adam MIRECKI«Etude comparative de chaînes de conversion d‟énergie Dédiées à une éolienne de petite puissance», THÈSE de Doctorat, L‟INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE, Nº D'ordre : 2213/2005.

[32] LATRECHE Mohammed Tahar « Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanant (MSAP) utilisée dans un système Éolien», Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2012 [33] GASSAB SAMIR «Modélisation d‟une centrale hybride photovoltaïque- Éolienne» mémoire de magister de l'Université Ferhat Abbas – Sétif, décembre 2011.

[34] Mayouf Mesaoud, Contribution à la modélisation de l'aérogénérateur Synchrone à aimant permanant, thèse de magister de l'université de Batna, 13-02-2008.

[35] B. N. Mobarkah, « Commande vectorielle sans capteur mécanique des Machines synchrones à aimants : Méthodes, Convergence, Robustesse, Identification „en ligne‟ des paramètres », thèse de doctorat de L'Université de Téhéran, Iran. Décembre 2001

[36] S. Lalouni « Etude, commande et Simulation d'une chaine hybride (photovoltaiqueeolienne) de production d'énergie électrique » Thèse Doctorat, université de Bejaia, 2009

[37] N. Benbelaid, R. Maizia « Commande et optimisation d'un système de Pompage hybride (PV-Eolienne) » Mémoire de Master, Université de Bejaia, 2016

[38] Steve Wilson, Pump affinity laws for centrifuge pumps, Grundfos. https://www.grundfos.com/content/dam/CBS/global/whitepapers/Affinity Laws . pdf.

[39] A.Khiareddine, C. Ben Salah, and M. F. Mimouni, "Determination of the Target speed corresponding to the optimum functioning of a photovoltaic System pumping and regulation of the water level," International Conference on Electrical Engineering and Software Applications, 2013, pp. 1-5

[40] K.Kendouci«Contribution à la Commande sans Capteur Mécanique d'‟une Machine Synchrone à Aimants Permanents », Thèse de doctorat. Université d'Oran, 2012 .

[41] L.Khettache,« Etude et commande d'un système éolien à base d'une Machine électrique double alimentée », Batna, 2007.

[42] Mayouf Mesaoud, Contribution à la modélisation de l'aérogénérateur Synchrone à aimant permanant, thèse de magister de l'université de Batna, 13-02-2008.

[43] Adam MIRECKI «Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie Dédiées à une éolienne de petite puissance», THÈSE de Doctorat, L'‟INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE, Nº D'‟ordre : 2213/2005.

[44] S.El-Aimani« Modélisation de différentes technologies d'éoliennes Intégrées dans un réseau de moyenne tension », Thèse de doctorat de L'Ecole Centrale de Lille (ECL) Cohabilité avec L'‟université des sciences et technologies de Lille 1 (USTL),06 décembre 2004.

[45] Hamecha samira «Etude et commande d'une éolienne à base d'une Machine synchrone à aimant permanant», Thèse de Magister, université De Tizi ouzou, 2013.

[46] K.Nabti, "Stratégies de commande et techniques intelligentes appliquées Aux machines de type synchrone", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2010.

[47] G. Grellet, and G. Clerc, " Actionneur electriques, principes, modèles, Commande "Eyrolles, 1997. [48] H.Amrous,"Commandes adaptatives d'une machine synchrone a aimants Permanents", Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 2009.

[49] F.Benchabane,"Commande en position et en vitesse par mode de Glissement d"un moteur synchrone triphasé à aimants permanents avec Minimisation du chattring", Thèse de Magister, Université de Biskra, 2005.

[50] Ahmed Medjber ; Abderrezak Guessoum…,« New neural network and fuzzy logic controllers to monitor maximum power for wind energy conversion system»;ELSEVIER; energie,137-146,2016.

[51] A. Medjber , A. Moualdia; «Comparative Study between Direct and Indirect. Vector Control Applied to a wind Turbine Equipped with a Double-fed Asynchronous Machine Article »;IJORER,Vol.3,No.1,2013

[52] T. Rekioua « Contribution à la modélisation et à la commande vectorielle Des machines synchrones à aimants permanents », Thèse de doctorat de l'INPL Nancy (France),1991.

[53] MEDJBER.A ; « Modélisation et optimisation d'une systéme de production d'énergie hybride pv-éolien à l'aide des technique de l'intelligence artificielle » ; thèse de doctorat, blida

,2016

[54] C.Serir, «Optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque». Mémoire de Magister de L'Université de Bejaia, Algérie, 2012. [55] 1. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B.S. Sy, Le pompage photovoltaïque, IEF/Université d'Ottawa/EIERICREPA 1998. [56] L. Arnaud ; B. Gay, De l'eau pour le maraîchage, Gret, Ministère de lcoopération/ACP-UE 1994.

[55] www.Energies-nouvelles-entreprises.fr

[56]www.ecolabenergie.fr

Annexe

Annexe A

Paramètre de la turbine éolienne

(5kw)¬ R =3 m

- ro =1.22 kg/m3• G=35
- f=0.0003881 N.m/rad.s-1•
- j=0.00176 kg.m2 Pi=3.14• Lan=8• P=1
- Paramètre de la GSAP (5kw)¬ Rs = 0.9585 Ohm• Ld =0.00525 H• Lq =0.00525 H• P=4• V=132.5525 vol

t• Paramètre de MAS (4kw)¬ Rs =0.435ohm• Rr =0.815 ohm• Ls =2e-3 H• Lr =2e• -3 H M=69.31e-3H• V=220 volt• P=2238 VA• J=0.089 Kg.m2• P=2• F=50 HrtzAnnexe• Paramètre de la pompe centrifuge¬ $Qref$=0.0185 m3• /s $Href$=4 m• $Pmécref$ =3600• ren =78%• ro =1000 kg/m3•

- g=9.81m/s2 h=15.4 m

Annexe B

Table

n.1 Pertes de charge dans les tuyaux d'acier (calcul des pertes dans la tuyauterie) Q : Débit. HL : Pertes de charge en m pour 100 m. v = Vitesse de passage max 1,5 mis pour l'aspiration et 3 mis pour le refoulement.

Annexe Table n. 2 Pertes de charge en cm pour les courbes, vannes, clapet de pied et clapet de non retour

Tuyau	Q m³/h	1	3	6	9	12	18	24	30	36	42	48	60	90	120	180	240	300	360	420
G ft mm	Q l/min	16	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000
G 1 DN 25		2,7 0,6	21 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/4 DN 32		0,7 0,35	5,5 1	22 2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/2 DN 40		-	1,8 0,7	7 1,35	14 1,9	23 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 DN 50		-	0,5 0,4	2,2 0,8	4 1,25	8 1,6	17 2,5	28 3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 1/2 DN 65		-		0,6 0,5	1,2 0,75	2,1 1	4,2 1,4	8 2	12 2,5	17 3	22 3,4	28 4	-	-	-	-	-	-	-	-
DN 80	HL v	-	-	-	-	0,8 0,7	1,6 0,95	2,8 1,25	4,2 1,6	6,5 2	7,5 2,1	10,5 2,6	15 3,3	-	-	-	-	-	-	-
DN 100	m/100m m/s	-	-	-	-	-	0,55 0,6	0,9 0,8	1,4 1,1	2 1,20	2,4 1,4	3,5 1,8	5 2	11 3,2	20 4	-	-	-	-	-
DN 125		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 0,95	1,2 1,1	1,8 1,4	4 2	6,5 2,7	15 4	-	-	-	-
DN 150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 0,9	1,5 1,4	2,5 1,7	5 2,7	8 3,5	14 4,8	-	-
DN 200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 0,8	0,6 1	1,3 1,6	2 2	3,5 2,6	4,6 3	6,5 3,5
DN 250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 1	0,7 1,3	1,1 1,6	1,6 2	2 2,3
DN 300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3 0,9	0,45 1,25	0,7 1,4	0,9 1,6

Q : Débit.

HL : Pertes de charge en m pour 100 m.

v = Vitesse de passage max 1,5 mis pour l'aspiration et 3 mis pour le refoulement