

# وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJIMOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2018

Faculté: Sciences de l'Ingénierat  
Département: Electronique

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

**Intitulé :**  
**Détection de défauts d'une éolienne**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Electronique**

**Spécialité: Instrumentation**

**Par :**

**Bakkar Zakaria**

**DEVANT Le JURY**

**Président : F . LAKEL      MCA      UBM Annaba**

**Directeur de mémoire: N.GUERSI      PROF      UBM Annaba**

**Examineurs: S.KERMICH      PROF      UBM Annaba**

**F.AMAR      DR      UBM Annaba**

# Dédicace

A celui qui m'a indiqué la bonne voie  
en me rappelant que la volonté fait  
toujours les grands hommes...

A mon Père

A celle qui a attendue avec patience  
les fruits de sa bonne éducation...

A ma Mère

A tous mes frères, mes sœurs, mes  
amis et tous ceux qui me sont chers...

Que Dieu vous garde

---

# REMERCIEMENT

Je remercie ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et témoigner ma profonde gratitude à Mr N. GUERSI, professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba, qui m'a honoré de son encadrement et qui a accepté la lourde tâche de promoteur.

Nous remercions également:

Mr le professeur F.LAKEL de l'université de BADJI MOKHTAR ANNABA qui nous a fait le grand honneur de présider notre jury de mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude pour l'intérêt qu'il a accordé à nos travaux.

Docteur S.KERMICH de l'université de Badji Mokhtar Annaba ainsi qu'au Docteur F.AMARA de l'université de Badji Mokhtar Annaba, d'avoir acceptés de participer à mon jury comme examinateurs

Je remercie, tous les enseignants de l'université de Badji Mokhtar Annaba, pour avoir bien voulu me faire profiter pleinement de leurs compétences scientifiques et encore de leurs idées illuminatives

Je remercie également mes collègues de la promo 2018.

## **Résumé**

L'énergie éolienne participe fortement à la production d'énergie électrique dans le monde industriel. Comme tous les systèmes industriels, l'éolienne peut être menacée par des anomalies qui sont susceptibles de causer des dommages de ses performances ou même de provoquer un arrêt total de l'installation. Par conséquent, les méthodes de diagnostic de défaut sont nécessaires. Dans ce projet, afin d'anticiper l'apparition d'un dysfonctionnement, soit pour les éviter, soit pour limiter les conséquences, nous avons utilisé une technique de diagnostic de fautes basée sur un modèle pour détecter et isoler les défauts capteurs et actionneurs dans les systèmes de tangage de l'éolienne lames. Il s'agit d'un observateur appliqué sur un modèle «Benchmark» pour la détection de fautes et les failles d'isolement (FDI) dans une éolienne, les résultats de simulation de MATLAB / SIMULINK sont présentés pour valider l'efficacité de cette méthode de diagnostic

## **Abstract**

The wind energy participates strongly in the electric power production in the industrial world. As all industrial systems, the wind turbine can be threatened by anomalies that are likely to cause damages of its performances or even to provoke a total stop of the installation. Therefore the fault diagnosis methods are necessary. In this project, in order to anticipate the apparition of a dysfunction, either to avoid them, or to limit the consequences, we used a model-based fault diagnosis technique to detect and isolate sensor and actuator faults in the pitch systems of the wind turbine blades. It is about an observer applied on a "Benchmark" model for fault detection and isolation faults (FDI) in a wind turbine, the results of simulation by MATLAB / SIMULINK are presented to validate the efficiency of this diagnosis method.

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chap1 : généralité sur le système éolienne</b>	
<b>I.1 Introduction : .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2 .Capacité mondiale des éoliennes.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.Capacité des éoliennes en Algérie .....</b>	<b>5</b>
<b>I.4 Généralités sur les éoliennes .....</b>	<b>6</b>
<b>I.4.1. Définition de l'énergie éolienne .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.2Principe de fonctionnement d'une éolienne .....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.3 Types des éoliennes : .....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.3.1 Eoliennes à axe vertical :.....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.3.2. Eoliennes à Axe Horizontal : .....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.4Principaux composants d'une éolienne : .....</b>	<b>9</b>
<b>I.5 Conversion de l'énergie éolienne .....</b>	<b>10</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>13</b>
<b>Chap2 : Les méthodes de diagnostic pour détection de défaut.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Diagnostic des systèmes dynamiques.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1. Différents type de défaut .....</b>	<b>15</b>
<b>a. Défauts capteurs .....</b>	<b>15</b>
<b>b. Défauts actionneurs .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Classification des méthodes de diagnostic.....</b>	<b>17</b>
<b>a. Méthodes sans modèle .....</b>	<b>18</b>
<b>b. Méthodes à base de</b>	
<b>modèle.....</b>	<b>21</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>24</b>
<b>Chap3 : Résultat et simulation de modèle FDI BENCHMARK a base</b>	
<b>d'observateur .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 .Sinario de Défauts :.....</b>	<b>26</b>
<b>4- Description de système BENCHMARK:.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Méthode de détection des défauts de capteur et d'actionneur dans le</b>	
<b>système de calage à base d'observateurs.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5. Simulation des résultats.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.1. Système 1 (défaut valeur fixe dans <math>\beta_1, m_2</math>).....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.2. Système 3 (défaut 3 <math>\beta_3, m_1</math>).....</b>	<b>31</b>
<b>3.5.3.Système 3 (sans défaut <math>\beta_2, m_1</math> et <math>\beta_2, m_2</math>) :.....</b>	<b>33</b>
<b>CONCLUSION</b>	
<b>GENERALE.....</b>	<b>35</b>

## **Introduction générale**

Suite à la progression rapide des nouvelles technologies, les systèmes industriels sont de plus en plus complexes et l'opération de diagnostic est devenue indispensable pour assurer la sûreté de fonctionnement et la disponibilité de ces systèmes. Bénéficiant des outils déjà existants en automatique, la recherche dans le domaine du diagnostic a connu une évolution très importante qui lui a permis de développer plusieurs méthodes donnant une solution aux problèmes de la détection et de l'isolation de défauts.

Parmi les méthodes de diagnostic nous avons choisit la méthode à bas model de BENCHMARK qui est difficile a réaliser vu a ca complexité dans l'étapes de modélisation parcequ'elle requis des connaissances sur le comportement du système et de ces paramètres internes et son architecture, mais cette méthodes est didactique et simple en point de vue diagnostic c'est-à-dire l'étape qui suivent la modalisation de système a surveiller , on aussi utiliser u redondance matérielle au niveau des capteurs pour augmenter la fiabilité de la méthode de diagnostic .

le système qui nous allons choisi dans se travail est le système éolienne .nous utilisant le model BENCHMARK pour détecter des defaults de ce système éolienne.

Ce mémoire comprend trois chapitres :

**Chap1** : généralité sur le système éolienne

ce chapitre contient le définition et principe de fonctionnement d'un eolienne, les types et les principaux composants de ce système

**Chap2** : Les méthodes de diagnostic pour détection de défaut

Dans ce chapitre nous représentons les des différents types de défauts et de leurs influences sur le processus à diagnostiquer en plus les différentes méthodes de diagnostic seront présentées.

**Chap3** : Résultat et simulation de modèle FDI BENCHMARK a base d'observateur

Dans ce chapitre nous appliquons la méthode de diagnostic sur le BENCHMARK de l'éolienne

# Chapitre 1

## **Généralité sur le système éolienne**

## **I.1 Introduction :**

L'énergie éolienne est l'une des premières formes d'énergie employée par l'homme. Elle fut utilisée pour la propulsion des navires ensuite pour les moulins à céréales. La première utilisation connue de l'énergie éolienne remonte à 2000 ans avant J-C. Les Babyloniens avaient conçu à cette époque tout un projet d'irrigation de la Mésopotamie en faisant usage de la puissance du vent. Ce n'est qu'au moyen âge que les moulins à vent furent introduits en Europe pour moudre le blé et assécher les terres inondées au Pays-Bas.

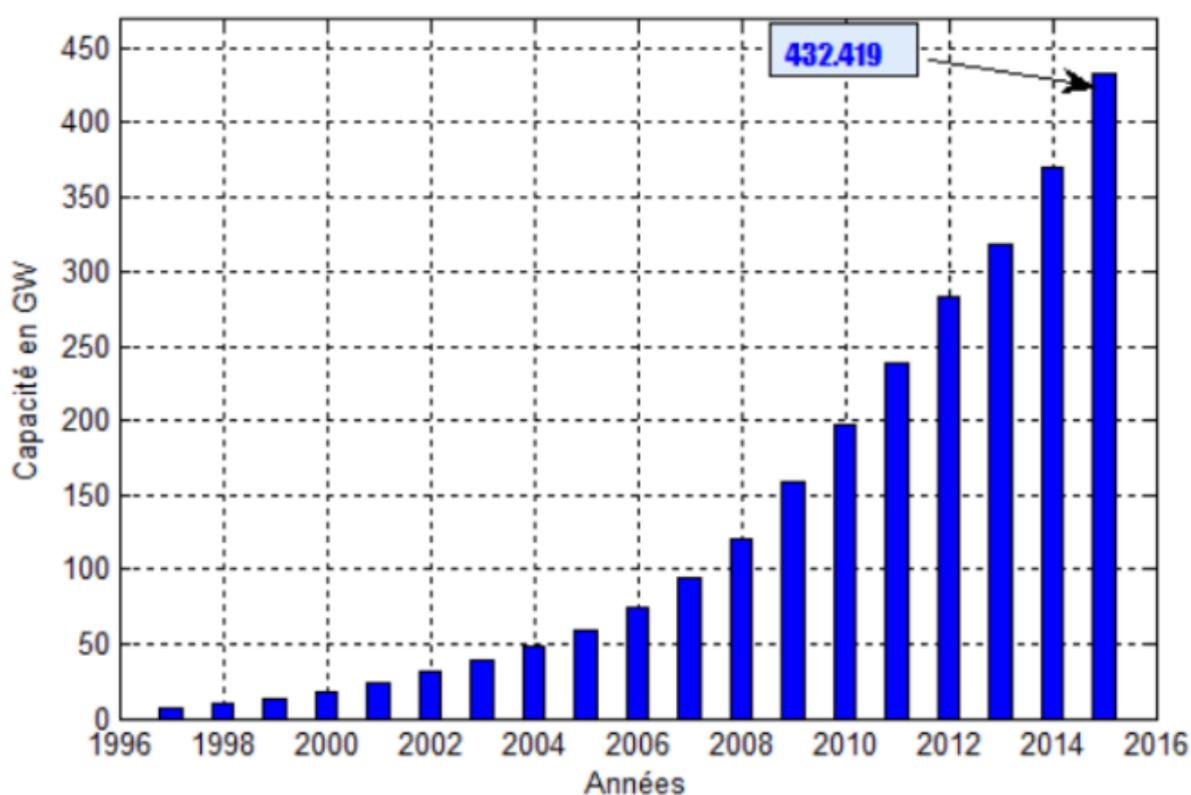
En 1890 Poul La Cour a eu l'idée d'associer une turbine éolienne à une génératrice. Cette application a évolué en termes de puissance et de rendement durant tout le 20<sup>ème</sup> siècle et jusqu'au début du 21<sup>ème</sup>. Elle fut utilisée à travers le monde notamment dans les zones isolées telles que les îles du pacifique. Les Pays-Bas se sont avérés les leaders incontestés dans les domaines de la construction des éoliennes (50% des éoliennes dans le monde sont de fabrication Hollandaise) [1]. La crise pétrolière de 1973 a alerté les états non producteurs d'énergie fossile sur la nécessité du développement de l'énergie éolienne. En 2006 l'Algérie a décidé de se doter de la technologie éolienne en implantant la première ferme éolienne à Tindouf. Elle aura une puissance de 50 MW et dans les années à venir, 5% des besoins algériens en électricité seront assurés par les énergies renouvelables dont l'énergie éolienne [2]. Selon l'Observatoire des Energies Renouvelables, l'éolien est actuellement la filière énergétique des plus dynamiques dans le monde. Suite à la crise pétrolière mondiale des années 70, le développement et la commercialisation des turbines éoliennes ont été fortement encouragés. Pour utiliser le vent comme source d'énergie, il faut connaître le potentiel éolien d'une région. Toutefois, une bonne connaissance des caractéristiques du vent en tout site est importante pour une exploitation adéquate des ressources éoliennes. En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre, ceci est dû à une topographie et un climat très diversifiés. Dans ce chapitre, on s'intéresse essentiellement aux éoliennes à vitesse variable et à axe horizontal avec leurs constitutions et leurs principes de fonctionnement, ainsi qu'aux différents types de générateurs utilisés dans cette chaîne de conversion.

## **I.2 .Capacité mondiale des éoliennes**

Actuellement, l'énergie éolienne est bien implantée parmi les autres sources d'énergie avec une croissance très forte dans tous les pays du monde. Voir tableau 1.1 qui représente l'évolution de la capacité mondiale de production d'énergie éolienne de 1997 ~2015. C'est le secteur électrique dynamisé qui enregistre la croissance la plus forte augmentation en termes

de capacité. Des installations record d'énergie éolienne dans le monde ont été effectuées en 2015.

Bien devant les installations photovoltaïques et les centrales à charbon les installations d'énergie éolienne constituent près de 44,2% du total des nouvelles capacités électriques installées dans l'Union électrique [1]. Fin 2015 (voir figure 1.1), l'énergie éolienne installée constitue près de 432.4 GW plus de 63.0 GW par rapport à l'année 2014. Avec en tête la Chine, les États-Unis et l'Allemagne, dont 33.6% en Chine, 17,2% aux États-Unis et 10,4% en Allemagne (voir le tableau 1.2). Vu que la Chine est dotée d'une loi sur les énergies renouvelables et d'un plan national d'action pour le contrôle de la pollution, ces mesures ont aidé la Chine à passer de 0.352 GW de capacité éolienne en 2000 à une capacité de 120 GW en 2015.



**Figure 1-1** : Evolution mondiale de la capacité installée des éoliennes.

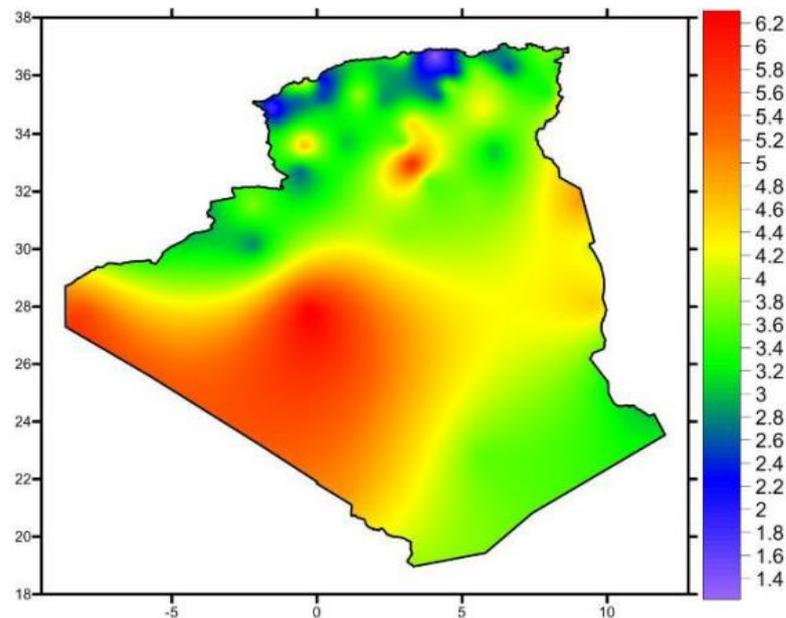
### **I.3. Capacité des éoliennes en Algérie**

En Algérie, la première tentative de raccorder des éoliennes au réseau de distribution d'énergie électrique date de 1957, avec l'installation d'un aérogénérateur de 100 kW sur le site des Grands Vents (Alger) conçu par l'ingénieur français Andreau[2]. Ce prototype avait été installé initialement à St-Alban en Angleterre. Ce bipale de type pneumatique à pas variable de 30 m de haut avec un diamètre de 25 m fut racheté par Electricité et Gaz d'Algérie. La deuxième tentative de raccorder des éoliennes au réseau de distribution d'énergie électrique fus en 2014 à Kaberten situé à 72 km au nord de la wilaya d'Adrar à capacité de 10.2 MW, ce parc éolien a été mis en service début juin 2014. Il est

composé de 12 éoliennes, la puissance de chaque éolienne est de 850 kW et leur diamètre est de 52 mètres avec une hauteur du mât de 55 m. Les éoliennes sont implantées sur un site d'une superficie globale de 33 hectares.

L'énergie électrique fournie par ce parc éolien est injectée dans le réseau MT local. Le taux de pénétration de l'énergie éolienne est de 5% par rapport au réseau local. L'Algérie prévoit d'atteindre à l'horizon 2030 près de 40% de la production nationale d'électricité de sources renouvelables.

Bien que le choix de l'énergie solaire soit prédominant, l'énergie éolienne représente le deuxième axe de production de ce programme, Selon les prévisions du groupe Sonelgaz, La capacité totale à installer à l'horizon 2030, fixée 5010 MW pour l'éolien pour la période 2015-2020, il est programmé de réaliser 1GW en éolien parmi ces projets on trouve la réalisation de deux fermes éoliennes, une de 50MW à Timimoune et l'autre de 20MW à Khenchela. Le nouvel Atlas éolien de l'ONM a mis en évidence l'existence d'autres sites ventés dans d'autres régions du Sud. Outre Adrar, les régions de Tamanrasset, Djanet et In Salah disposeraient d'un important potentiel. Cette étude a été réalisée en 2013 par Dr. Sidi Mohammed Boudia [S.M. Boudia ,2013] qui a réactualisé la carte des vents à 10m (voir figure 1.2).



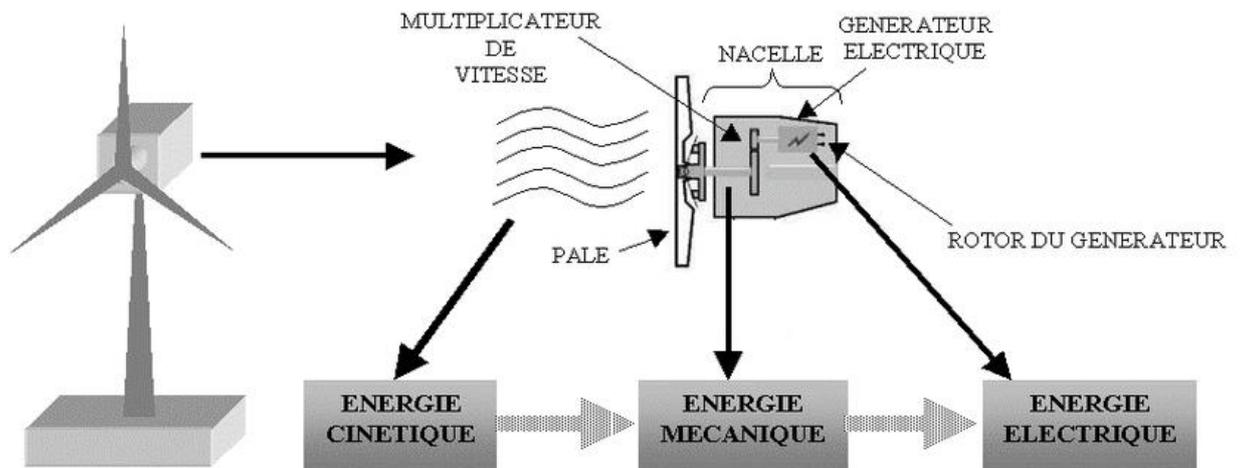
**Figure1-2:**Carte annuelle des vents à 10 m du sol pour les 87 points de mesure (m/s)

## I.4 Généralités sur les éoliennes

### I.4.1. Définition de l'énergie éolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie

électrique par l'intermédiaire d'un générateur électrique (Figure I.3).[ DehoumFawzi&Djeddou,2011]



**Figure 1-3** :Conversion de l'énergie cinétique du vent

### 1.4.2 Principe de fonctionnement d'une éolienne

Une éolienne est constituée d'une partie tournante, le rotor, qui transforme l'énergie cinétique en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite. La puissance mécanique est ensuite transformée soit en puissance hydraulique par une pompe, soit en puissance électrique par une génératrice.

### 1.4.3 Types des éoliennes :

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

#### 1.4.3.1 Eoliennes à axe vertical :

Les éoliennes à axe vertical de type Darrieus possèdent généralement un rendement plus faible que les éoliennes classiques à axe horizontal (voir figure I.4). Le principe est celui d'un rotor d'axe vertical qui tourne au centre d'un stator à ailettes. Ce type de solution réduit considérablement le bruit tout en autorisant le fonctionnement avec des vents supérieurs à 220km/h et quel que soit leur direction.



**Figure I-4** : Eoliennes à axe vertical

#### **I.4.3.2. Eoliennes à Axe Horizontal :**

Les éoliennes à axe horizontal beaucoup plus largement employées, elles nécessitent souvent un mécanisme d'orientation des pales, présentant un rendement aérodynamique plus élevé, démarrent de façon autonome et présentent un faible encombrement au niveau du sol.

Dans ces types d'éolienne l'arbre est parallèle au sol. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien, ce type d'éolienne a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important. [Saki Ali & Belaidi Mourad, 2006]



(a) Éoliennes trois pales

(b) Éoliennes deux pales

**Figure I-5** : Éolienne à axe horizontal.

#### **I.4.4 Principaux composants d'une éolienne :**

Une éolienne est généralement constituée de trois éléments principaux : la tour ou le mat, la nacelle et l'ensemble rotor-pales.

- **Le mât**

Généralement un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique, doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. Toutefois, la quantité de matière mise en œuvre représente un coût non négligeable et le poids doit être limité.

Un compromis consiste généralement à prendre un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre du rotor de l'aérogénérateur.

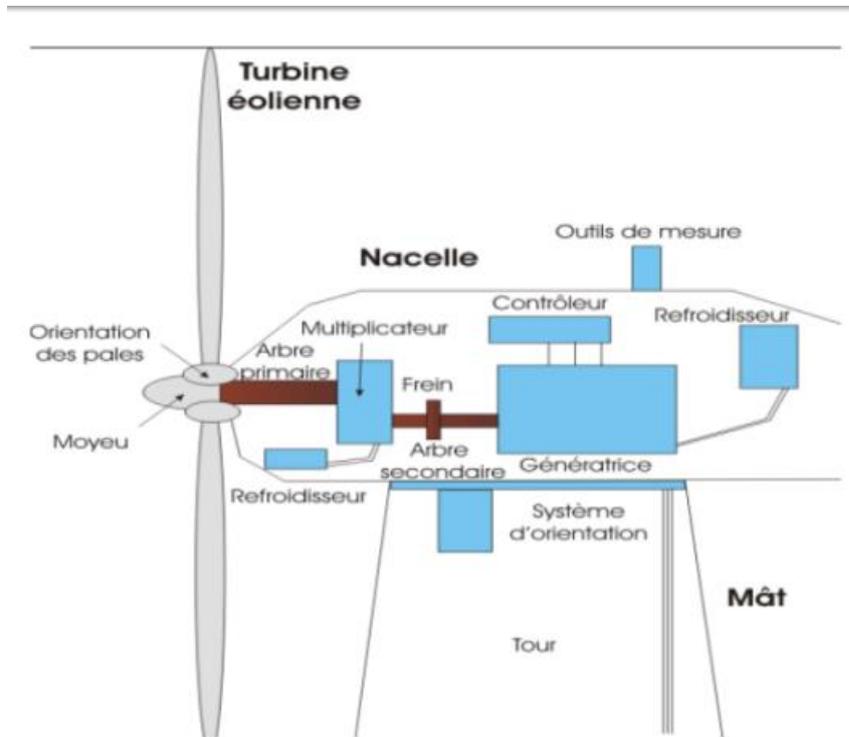
- **La nacelle**

Regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique arbre lent et rapide, roulements, multiplicateur. Le frein à disque, différent du frein aérodynamique, qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge.

Le générateur qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone et les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales (frein aérodynamique) et de la nacelle (nécessaire pour garder la surface balayée par l'aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent). A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne. [DehoumFawzi&Djeddou Lakhdar,2011]

- **Le rotor :**

Formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3, le rotor tripale (concept danois) étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit.

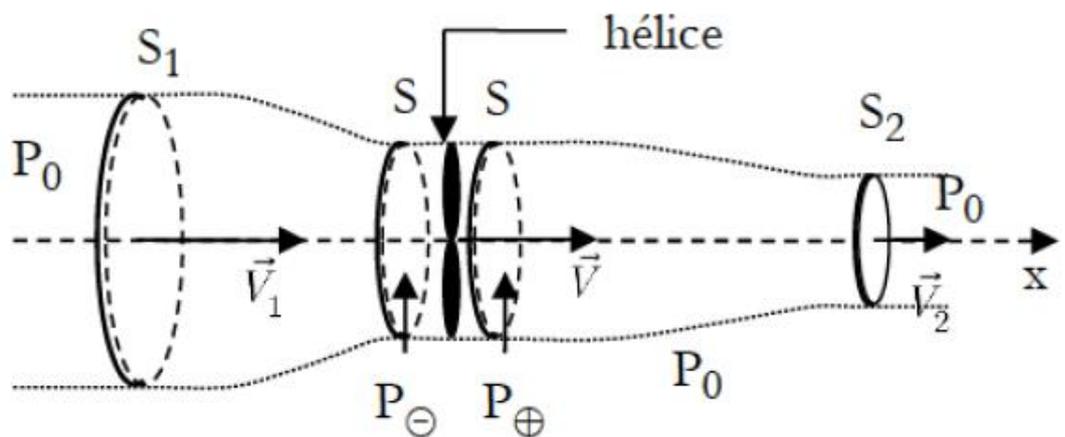


**Figure I-6** Eléments constituant une éolienne

### I.5 Conversion de l'énergie éolienne

#### Loi de BETZ

La théorie du moteur éolien à axe horizontal a été établie par BETZ. Il suppose que le moteur éolien est placé dans un air animé à l'infini amont d'une vitesse  $V_1$  et à l'infini aval d'une vitesse  $V_2$  : [Frédéric POITIERS,2003]



**Figure I-7** Tube de courant d'air autour d'une éolienne

Dans la figure (I-7) on peut écrire le principe de l'incompressibilité de l'air et la continuité de l'écoulement :

$$S_1 V_1 = S V = S_2 V_2 \quad (I.1)$$

D'après le théorème d'EULER, La force exercée par l'air sur l'aérogénérateur est donnée par :

$$F = \rho.S.V.(V_1 - V_2) \quad (I.2)$$

D'où la puissance absorbée par l'aérogénérateur :

$$P_{aero} = F.V = \rho.S.V^2.(V_1 - V_2) \quad (I.3)$$

En prenant :  $V = \frac{V_1 + V_2}{2}$

$$P_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho.S.V.(V_1^2 - V_2^2) \quad (I.4)$$

Un vent théoriquement non perturbé traverserait cette même surface S sans diminution de vitesse soit à la vitesse, la puissance correspondante (mécanique théorique) serait alors :

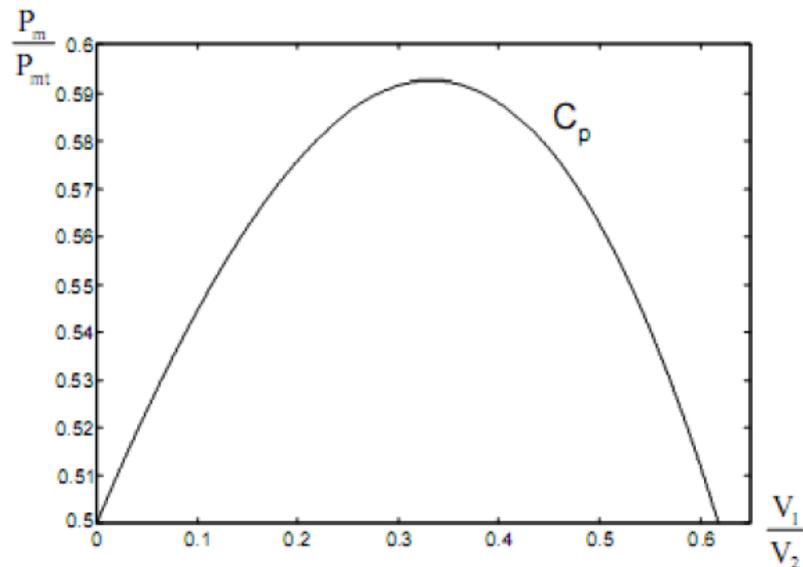
$$P_{mt} = \frac{1}{2} \cdot \rho.S.V_1^3 \quad (I.5)$$

On définit le rapport entre les deux puissances  $C_p$ , puissance extraite du vent et celle qui est théoriquement disponible par le coefficient de puissance :

$$C_p = \frac{P_{aero}}{P_{mt}} = \frac{(1 + \frac{V_1}{V_2}).(1 - (\frac{V_1}{V_2})^2)}{2} \quad (I.6)$$

Ce coefficient présente un maximum de 0,59. C'est cette limite théorique appelée limite de

BETZ qui fixe la puissance maximale extractible pour une vitesse de vent donnée



**Figure I-8** : Variations du coefficient de puissance

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons vu une définition de l'énergie éolienne, et le principe de fonctionnement des éoliennes, et le principe de fonctionnement des éoliennes, ces deux grandes familles et les différentes parties d'une éolienne

# Chapitre 2

## **Les méthodes de diagnostic pour détection de défaut**

## 2.1. Introduction

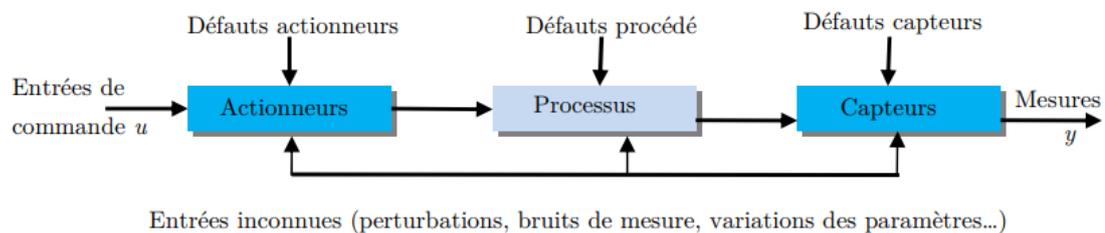
Ce chapitre a essentiellement pour objectif de présenter quelques rappels sur des concepts fondamentaux relatifs au diagnostic et à l'observabilité des systèmes dynamiques non linéaires.

## 2.2. Diagnostic des systèmes dynamiques

le diagnostic est un système d'aide à la décision qui permet de localiser les composants ou les organes défaillants d'un système et éventuellement de déterminer ses causes. En parcourant la littérature, on se rend compte immédiatement que la terminologie dans ce domaine n'est pas cohérente. De nombreuses définitions d'un même mot sont trouvées. Afin d'enlever toutes ambiguïtés, le comité technique SAFEPROCESS de l'IFAC (International Federation of Automatic Control) ont essayé de standardiser cette terminologie.

### 2.2.1. Différents type de défaut

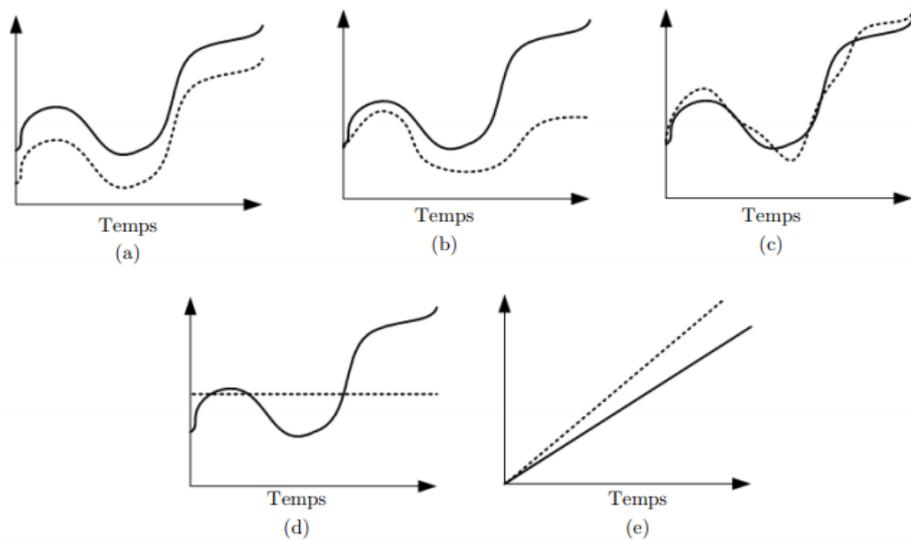
Un défaut est défini comme étant un écart non permis entre la valeur réelle d'une caractéristique du système et sa valeur nominale. Comme le montre la figure (2.1), trois types de défauts sont distingués: défaut actionneur, défaut procédé et défaut capteur (ou défaut composant).



**Figure.2.1.** Différents types de défauts d'un système physique.

### c. Défauts capteurs

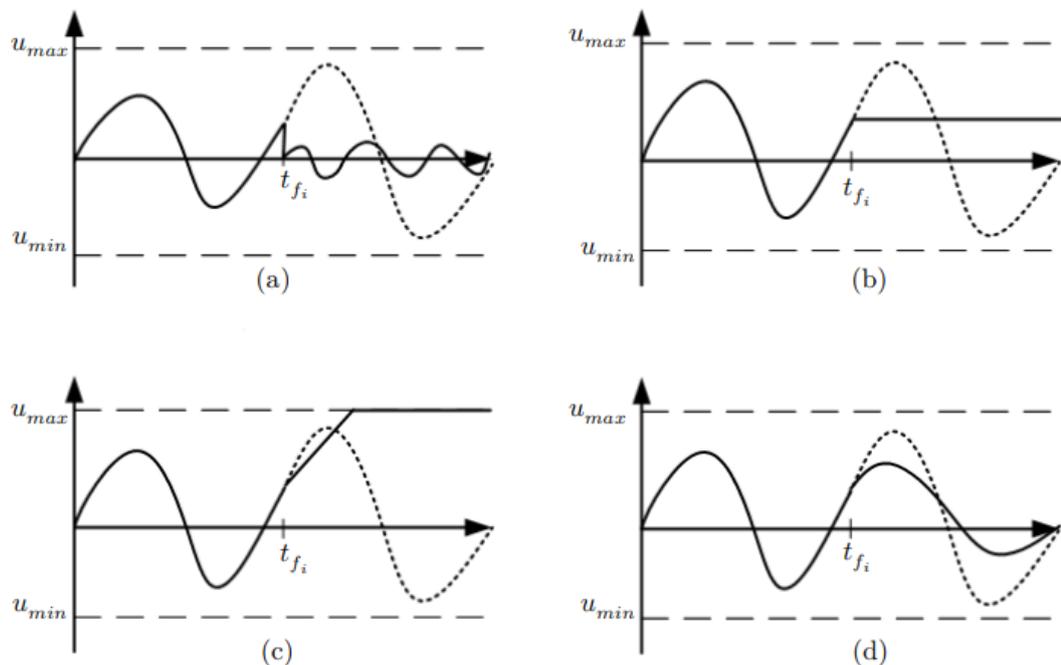
Les capteurs sont des instruments qui transforment une grandeur physique en une grandeur traitable par les calculateurs. Les capteurs sont essentiellement les interfaces de sortie d'un système avec l'environnement extérieur. Ils permettent de communiquer les informations concernant l'état et le comportement interne du processus. Ainsi, un défaut capteur caractérise une mauvaise image de la grandeur physique à mesurer. Pour les systèmes en boucle fermée, les mesures issues de ces capteurs sont utilisées pour la génération du signal de commande. Par conséquent, la présence d'un défaut capteur donne un signal de commande inexacte et inefficace. Les défauts capteurs les plus répandus sont: a) le biais, b) la dérive, c) la perte d'efficacité, d) le blocage et e) le défaut de calibrage. La figure (2) représente l'effet de ces défauts sur les mesures.



**Figure 2.2.** L'effet de différents types de défauts capteur sur les mesures.

#### d. Défauts actionneurs

L'actionneur est un élément de la partie opérative d'un système qui transforme les signaux de commande issus du contrôleur (micro-processeur, ou microcontrôleur) en mouvement (moteur), en chaleur (résistance électrique), ou en champ magnétique (électroaimant)... Ainsi, les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative et détruisent le signal d'entrée du système. Les conséquences de défauts actionneurs peuvent varier d'une consommation élevée de l'énergie jusqu'à la perte totale de contrôle. Les défauts actionneurs varient d'un actionneur à un autre, mais une classification non exhaustive des défauts les plus fréquents est donnée figure (3).



**Figure 2.3.** Représentation graphique des défauts actionneur les plus répandues

### 2.2.2. Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic se distinguent selon différents critères: la dynamique de procédé (discret, continu ou hybride), sa complexité, l'implémentation de diagnostic en ligne et/ou hors ligne, la nature d'information (qualitative et/ou quantitative), sa profondeur (structurelle, fonctionnelle et/ou temporelle), sa distribution (centralisée, décentralisée ou distribuée)...

L'objectif est de déterminer la méthode la plus appropriée pour la résolution de notre problème de détection et diagnostic, ainsi que, positionner la classe des méthodes de diagnostic qui nous intéresse parmi les différentes méthodes de la littérature. Nous proposons une classification non exhaustive des méthodes de diagnostic en deux grandes familles (figure (2.4)):

- Les méthodes sans modèle mathématique qui ne nécessitent pas de connaissances accrues du système physique, mais utilisent des connaissances superficielles,
- Les méthodes à base de modèles qui nécessitent une connaissance approfondie du système physique.

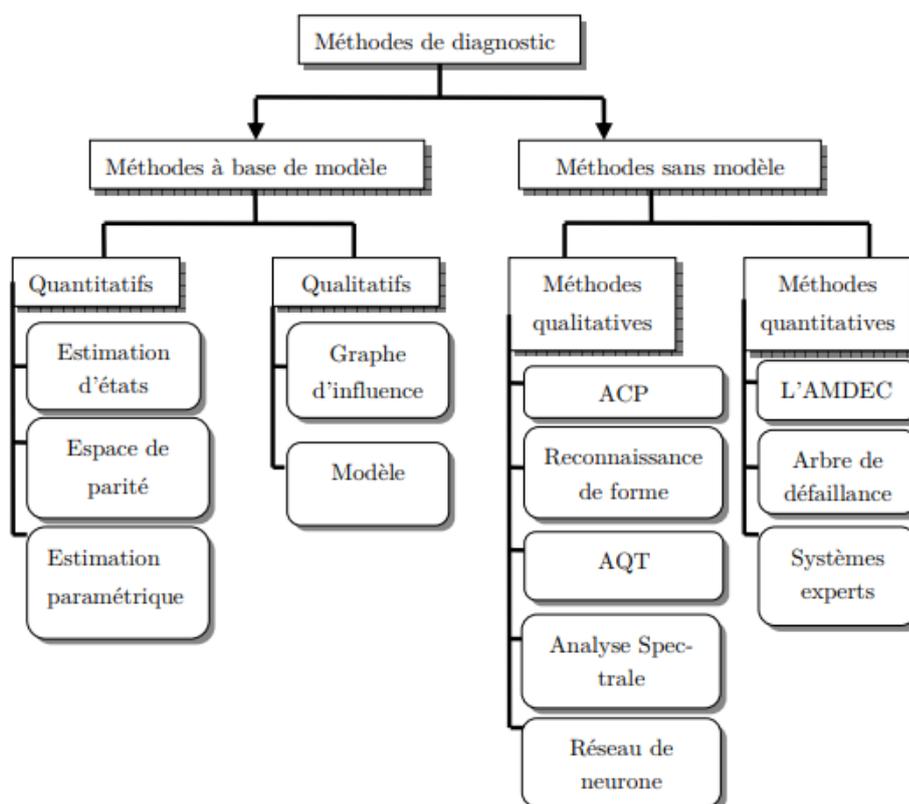


Figure 2.4. Une classification générale des méthodes de diagnostic

### c. Méthodes sans modèle

Pour certaines applications industrielles, la conception d'un modèle mathématique est difficile, voire impossible à obtenir, à cause des nombreuses reconfigurations intervenant dans le processus de production ou de la complexité des phénomènes mises en jeu. Dans ce cas, on a recours à des méthodes qui ne nécessitent aucune connaissance approfondie du procédé. Deux classes, dans ce type d'approches, peuvent se présenter: - Les méthodes quantitatives ou appelés méthodes à base de connaissances. - Les méthodes qualitatives ou méthodes basées sur le traitement de données. a.1. Méthodes qualitatives Les méthodes qualitatives consistent en l'exploitation d'une base de connaissance symbolique et nécessitent l'existence d'un large éventail de données historiques correspondant aux divers modes de fonctionnement de l'installation.

- **Analyse en composantes principales**

l'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique multi-variable, capable de compresser les données et de réduire leur taille. Elle peut être vue comme une technique de projection orthogonale linéaire qui projette les observations multidimensionnelles représentées dans un espace de dimension  $n$  ( $n$  est le nombre de variables observées) dans un sous-espace de dimension  $q < n$ , en maximisant la variance des projections (ou en minimisant l'erreur quadratique d'estimation). Cette méthode est utilisée avec succès dans les études de diagnostic de [Jolliffe, 1986 ; Pessel et al., 2007 ; Oja et al., 1992].

- **Reconnaissance de forme**: l'objectif d'une méthode de reconnaissance de forme est la classification automatique d'objet suivant sa ressemblance par rapport à un objet de référence. Dans un problème de diagnostic, une classe est formée par l'ensemble d'observations caractérisant une situation ou un mode de fonctionnement de processus: par exemple, la classe C1 peut être liée au fonctionnement normal du procédé, la classe C2 pour le fonctionnement dégradé et la classe C3 pour le fonctionnement défaillant. Le diagnostic consiste à associer toute nouvelle observation à une classe. Le problème de diagnostic est équivalent à la recherche des frontières entre les classes qui minimisent l'erreur de classification. Le calcul de la distance (distance euclidienne) peut être choisi comme un critère de décision pour assigner une forme à une classe et de déterminer avec quelle confiance est effectuée cette décision

- **Analyse qualitative des tendances**: son objectif est la représentation et l'analyse qualitative des signaux à travers l'information des dérivées de premier et de second ordre. Cette analyse se base sur la segmentation des signaux en unités appelées épisodes, en fonction de leur convexité et de leur pente. Elle est constituée de deux étapes de base: l'identification de tendances dans les mesures (ce processus doit être robuste par rapport au bruit en capturant seulement les variations importantes), et l'interprétation de ces tendances en termes de scénarios.

- **Analyse spectrale**: sous certaines conditions normales, certaines mesures ont un spectre typique de fréquence; toute déviation des caractéristiques fréquentielles d'un signal est reliée à une anomalie. Cette méthode s'avère intéressante pour l'analyse des signaux qui montrent des oscillations avec des périodes longues (les débits, les pressions...). L'application d'une procédure de décision permet de détecter et de localiser l'élément défaillant du système. Parmi les procédures de décision appliquées sur un échantillon de mesures on peut citer: le test empirique de franchissement de seuil, test de variance, le test de la moyenne ... [Basseville, 1988; 1997].

- **Réseaux de neurones**: le réseau de neurones peut être assimilé à un système informatique constitué d'un nombre de processeurs élémentaires interconnectés entre eux qui traite l'information qui lui arrive à partir des signaux extérieurs. Il est capable d'approcher une fonction non-linéaire dont on ne connaît que quelques points. De manière générale, l'utilisation d'un réseau de neurones se déroule en deux étapes. La première phase est l'apprentissage. Cet apprentissage permet alors, sur la base de l'optimisation d'un critère, de reproduire le comportement du système à modéliser. Il consiste dans la recherche d'un jeu de paramètres (poids) et peut s'effectuer de deux manières : supervisé (le réseau utilise les données d'entrée et de sortie du système à modéliser) et non supervisé (seules les données d'entrée du système sont fournies et l'apprentissage s'effectue par comparaison entre exemples). Une fois l'apprentissage est achevé, il peut être utilisé pour la généralisation. Il s'agit de la phase de test où de nouveaux exemples sont présentés au réseau de neurones pour juger de sa capacité à prédire les comportements du système modélisé. Lors d'un problème de diagnostic, leur emploi peut alors se faire à trois niveaux : 1) comme modèle du système à surveiller en état normal et générer un résidu d'erreur entre les observations et les prédictions, 2) comme système de détection en une seule étape (en tant que classificateur), ou 3) comme système d'évaluation de résidus pour le diagnostic.

Les méthodes quantitatives ou à base de connaissances sont mises en œuvre lorsque la majorité des mesures sont indisponibles et lorsque la construction du modèle s'avère difficile. Elles peuvent être utilisées pour identifier les causes des défaillances d'un procédé industriel. Il s'agit d'analyses fonctionnelles et structurelles qui se basent sur l'expérience et la connaissance de l'opérateur.

- **L'AMDE (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets)** et ses dérivées: c'est une méthode issue du contexte de la sûreté de fonctionnement. Villemeur dans [Villemeur, 1988] décrit l'AMDE comme une approche d'analyse consistant à identifier de façon inductive et systématique les modes de défaillances d'un système puis à en rechercher les causes et leurs effets. La démarche consiste à examiner comment et pourquoi les fonctions du système étudié risquent de ne plus être assurées correctement, en définissant les modes de défaillances potentielles, en recherchant les causes possibles de l'apparition de chaque mode de défaillance et enfin en étudiant pour chaque combinaison cause-mode de défaillance, les effets sur le système et sur l'utilisateur.

Une fois complétée par une analyse de criticité, l'AMDE devient l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et de la Criticité). Elle permet d'extraire les modes de défaillances les plus critiques. Elle consiste à examiner la criticité des modes de défaillances à partir de trois critères : gravité, fréquence d'apparition et probabilité de non-détection.

- **Arbre de causes à effets** ou arbre de défaillances: l'arbre de défaillances apparut la première fois dans [Villemeur, 1988], représente l'un des outils majeurs d'analyse de risques technologiques. L'objectif de cette approche est de déterminer les diverses combinaisons possibles d'évènements qui entraînent la réalisation d'un évènement indésirable unique. Sa représentation graphique est composée d'une structure arborescente permettant un traitement à la fois qualitatif et quantitatif. L'arbre de défaillances est composé de plusieurs niveaux où la racine correspond à l'évènement indésirable. Les niveaux sont ordonnés de manière successive tel que, chaque évènement est généré à partir des évènements du niveau inférieur par l'intermédiaire d'opérateurs logiques (ET, OU). La décomposition s'arrête aux niveaux des évènements élémentaires, caractérisés par le fait qu'ils sont indépendants et non décomposables en éléments plus simples.

- **Les systèmes experts:** le système expert est un système informatique destiné à résoudre un problème précis à partir d'une analyse, d'une représentation des connaissances et du raisonnement d'un ou de plusieurs spécialistes de ce problème. Ils utilisent une information heuristique pour lier les symptômes aux défauts. A partir de l'ensemble des symptômes à sa disposition, il déduit toutes les conclusions possibles, élabore de nouvelles hypothèses et approfondit son diagnostic en exploitant des informations supplémentaires collectées sur le système à diagnostiquer. Les systèmes experts sont composés de deux parties indépendantes : une base de connaissances et un moteur d'inférence. La base de connaissances peut être subdivisée en deux groupes: la base de faits et la base de règles. La base de faits représente l'état du système observé. La base de règles est un ensemble de règles logiques qui permettent de déduire, d'inférer de nouveaux faits à partir d'autres faits déjà établis dénommés les prémisses. Le moteur d'inférence a la lourde tâche de déduire tous les faits susceptibles d'être déduits à partir de la base de connaissances.

#### **b. Méthodes à base de modèle**

L'utilisation des modèles pour le diagnostic date du début des années 70. Depuis de nombreux travaux ont été proposés [Willisky, 1976 ; Chow et Willisky, 1984 ; Basseville, 1988 ; Patton et al., 1989 ; Gentil, 1997 ; Isermann et Balle, 1997 ; Fussel et Isermann, 1998]. Une étude complète sur les méthodes à base de modèles peut être trouvée dans l'article [Frank, 1996 (b)] ou des livres récents comme [Patan, 2008 ;

Chiang et al., 2001]. Ces méthodes sont des alternatives de la redondance physique ou matérielle. La structure générale de la plupart de ces méthodes se fonde sur l'idée de la redondance analytique [Chow et Willsky, 1984]. Le principe des méthodes à base de modèles est d'identifier l'écart entre le système réel et son modèle. Ces méthodes s'appuient sur des modèles comportementaux explicites du système soumis au diagnostic. Ces modèles peuvent être classés en deux catégories quantitatives ou qualitatives. Les méthodes à base de modèles sont plus performantes que celles basées sur les traitements de données ou sur les approches relationnelles [Frank, 1998]:

- le coût de développement et de maintenance est faible,
- les symptômes et les défauts ne doivent pas être anticipés,
- il s'agit des connaissances de conception plutôt que d'exploitation
- la connaissance du système est découplée de la connaissance de diagnostic,
- seule l'information du comportement normal est prise en compte.

### **b.1. Méthodes quantitatives**

Ces méthodes reposent sur les relations mathématiques qui existent entre les variables. Ces modèles sont développés en utilisant les lois fondamentales de la physique (bilan de masse, d'énergie, de quantité de mouvement, ..) ou des relations de type entrée sortie. Selon Frank, les méthodes de diagnostic à base de modèles quantitatifs se décomposent en trois grands groupes [Frank, 1998]: les approches par espace de parité, les approches d'estimation paramétrique, et les approches d'estimation d'états.

- **Espace de parité** : l'objectif de cette méthode est la vérification de parité (la cohérence) des modèles du procédé avec les mesures issues des capteurs et des entrées connues (consignes, signal de commande,...). Les premières évocations et utilisations de l'approche par espace de parité ont été réalisées à partir des relations analytiques statiques [Evans, 1970 ; Potter et Suman, 1977 ; Daly et al., 1979]. Ces notions ont été ensuite généralisées par [Mironovski, 1980], puis par [Chow et Willsky, 1984]. Dans le cadre général, l'approche consiste à réaliser une redondance analytique (en mode temporel ou fréquentiel) entre les entrées et les sorties du système et cela indépendamment des états du système. La matrice de parité est définie comme étant une matrice de projection de la matrice d'observabilité, ce qui revient à éliminer l'influence des états sur les résidus.

- **Estimation paramétrique**: Le principe de l'estimation paramétrique est d'estimer en continu les paramètres du système, en utilisant les mesures d'entrées et de sorties. Le résidu est alors la différence entre cette estimation et les valeurs de référence de l'état normal du procédé. Les premières applications de cette approche ont été faites par [Isermann, 1984]. Cette technique a été appliquée pour la détection des défauts pour les systèmes nonlinéaires [Isermann, 2006]. De nombreuses applications ont été réalisées dans le domaine de l'automobile [Constantinescu et al., 1995 ; Dinca et al., 1999], ou pour un modèle nonlinéaire d'un satellite [Jiang et al., 2008].

- **Estimation d'états**: Le principe de base de diagnostic par observateur consiste à estimer la sortie du système à partir des connaissances de la commande (ou partie de la commande), et des mesures (ou partie des mesures). Le vecteur résidu est ainsi construit comme l'écart entre la sortie estimée et la sortie mesurée. Ces résidus doivent servir d'indicateurs fiables du comportement du processus.

Plusieurs techniques d'observations ont été appliquées au diagnostic:

• **Filtre de détection de défaut**: cette méthode a été initiée par [Beard, 1971], puis a été formalisée par [Massoumnia, 1986] en 1986. L'objectif de cette approche est de construire des espaces de détection associés à chacun des défauts. Différents travaux traitent les méthodes des filtres de détection, parmi elles, retenons les travaux (Edelmayer et al., 1996 ; Frank et al., 1999 ; Rank et Niemann., 1999; Zhong et al., 2003...) pour le diagnostic robuste.

• **Observateur de détection de défaut:** plusieurs travaux ont été menés dans le cadre des systèmes linéaires: les observateurs à entrées inconnues vise à annuler l'erreur d'estimation d'une ou plusieurs combinaisons linéaires des états du système étudié, et ce, indépendamment de la présence d'entrées inconnues [Chen et al., 1996]. Une première utilisation des observateurs à entrées inconnues pour le diagnostic remonte à [Viswanadham et al., 1987]. [Magni et Mouyon, 1994] ainsi que [Staroswiecki et al., 1991] apportent des précisions sur la mise en place d'un observateur pour la détection de défauts. Dans le cadre des systèmes non-linéaires: [Adjallah et al., 1993] ainsi que [Hammouri et al., 1999 (a) ; 1999 (b)] synthétisent des observateurs pour des systèmes non-linéaires. La détection de défaut à base d'observateur non-linéaire constitue l'objectif principal de cette thèse. Une brève description des méthodes de génération des résidus par observateur pour des systèmes non-linéaires fera l'objet de la section (2.2.3).

## **b.2. Méthodes qualitatives**

La communauté d'Intelligence Artificielle (IA) a proposé un raisonnement qualitatif (ou semi-qualitatif) basé sur l'établissement de relations causes à effets. En effet, le diagnostic est typiquement un système causal puisqu'il consiste à établir des hypothèses sur les composants défaillants qui sont l'origine du dysfonctionnement observé. Le raisonnement qualitatif exprime le lien entre un composant et les formules décrivant son comportement. Parmi les méthodes les plus utilisées, on peut citer:

- **Les graphes causaux (ou graphes d'influence):** ils déterminent les composants défectueux qui peuvent expliquer le fonctionnement anormal observé. Le diagnostic basé sur un graphe causal consiste à rechercher la variable source dont la déviation est suffisante pour expliquer toutes les déviations détectées sur d'autres variables [Travé-Massuyès et al., 97]. Deux principaux types de structure causale sont proposés: le premier type lie la causalité aux équations décrivant le système (analyse globale) [Pons et Travé-Massuyès, 1997; Blanke et al., 2006] tandis que le deuxième axe lie la causalité à la structure du système (analyse locale).

- **La logique floue:** la logique floue est une théorie mathématique introduite par [Zadeh, 1965], qui permet de tenir compte des incertitudes et permet une fusion des informations. L'idée de l'approche floue est de construire un dispositif, appelé système d'inférences floues, capable d'imiter les prises de décision d'un opérateur humain à partir des règles verbales traduisant ses connaissances relatives à un processus donné. Trouver une relation mathématique entre un défaut et ses symptômes s'avère souvent difficile. Cependant, en s'appuyant sur leur expérience, les opérateurs humains sont capables de déterminer l'élément défaillant qui est à l'origine des symptômes observés. Ce type de savoir peut être exprimé à l'aide de règles de la forme : SI condition ALORS conclusion. Où la partie condition comporte les symptômes observés et la partie conclusion l'élément défaillant. Ainsi le problème de diagnostic est considéré comme un problème de classification. Le vecteur des symptômes du classificateur, élaboré à partir des grandeurs mesurées sur le système, peut être vu comme une forme, qu'il s'agit de classer parmi l'ensemble des formes correspondant à un fonctionnement normal ou non.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre on fait un tour sur presque toutes les méthodes existantes du diagnostic avec des brèves descriptions sur chaque méthode en plus des définitions et des conventions utilisées en diagnostic d'une façon générale et dans ce mémoire spécialement, alors ce chapitre est une introduction aux généralités sur le diagnostic et la surveillance des systèmes.

# Chapitre 3

**Résultat et simulation de modèle FDI  
BENCHMARK a base d'observateur**

### 3.1 Introduction

Le modèle considéré reflète une éolienne à axe horizontal à trois pales, de vitesse variable, avec un convertisseur complet et de puissance de 4.8 MW. Ce modèle “Benchmark” contient quatre sous-modèle : les pales et le système de calage (Blade & Pitch System), le train d’entraînement (Drive Train), le convertisseur et le générateur (Converter and Generator) et enfin le contrôleur (Controller). Ces sous modèles sont montrés dans la Fig. 2, [Zhang.2011].

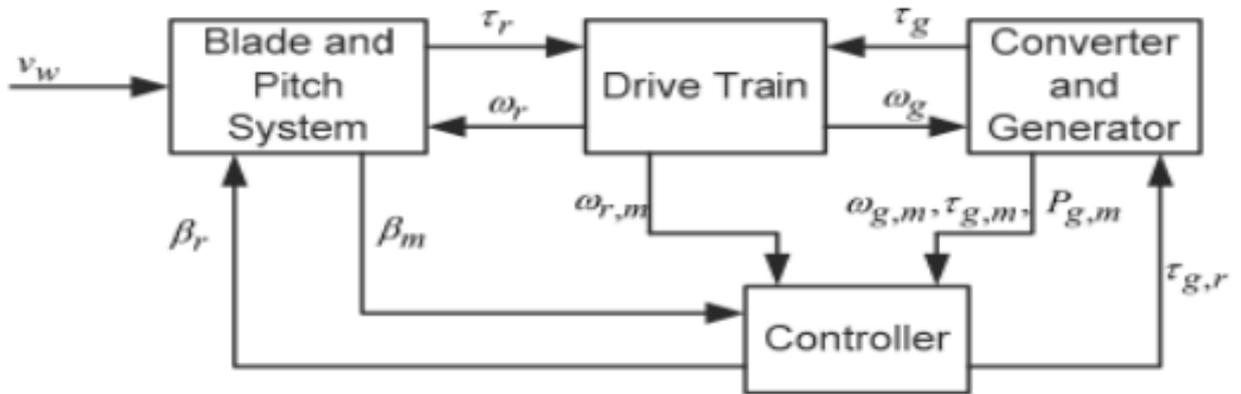


Figure 3.1 Schéma des sous-modèles de système éolien

Dans le but d’identifier les défauts possibles dans une éolienne et de déterminer leur effet sur le comportement du système, des défauts pouvant surgir dans une éolienne sont choisis de manière à en couvrir les différents types. De plus la redondance dans le système est identifiée pour déterminer la détection des défauts [zhang,2009].

### 3.2 .Sinario de Défauts :

- Défaut 1** la valeur fixée sur le moyeu(1) capteur de position(1)
- Défaut 2** Escalader l’erreur le moyeu(2) capteur de position(2)
- Défaut 3** la valeur fixée sur le moyeu(3) capteur de position(1)
- Défaut 4** Valeur fixe sur le capteur de vitesse du rotor (1)
- Défaut 5** Escalader l’erreur sur le capteur de vitesse de rotor(2) et la vitesse de générateur capteur (2)
- Défaut 6** la réponse de système de moyeu changée jette l’actionneur(2) contenu aérien de haute l’huile
- Défaut 7** la réponse de système de moyeu changée jette l’actionneur (3) basse pression.
- Défaut 8** compensé dans le couple de convertisseur
- Défaut 9** variant dynamique de train d’entrainement

## 4- Description de système BENCHMARK:

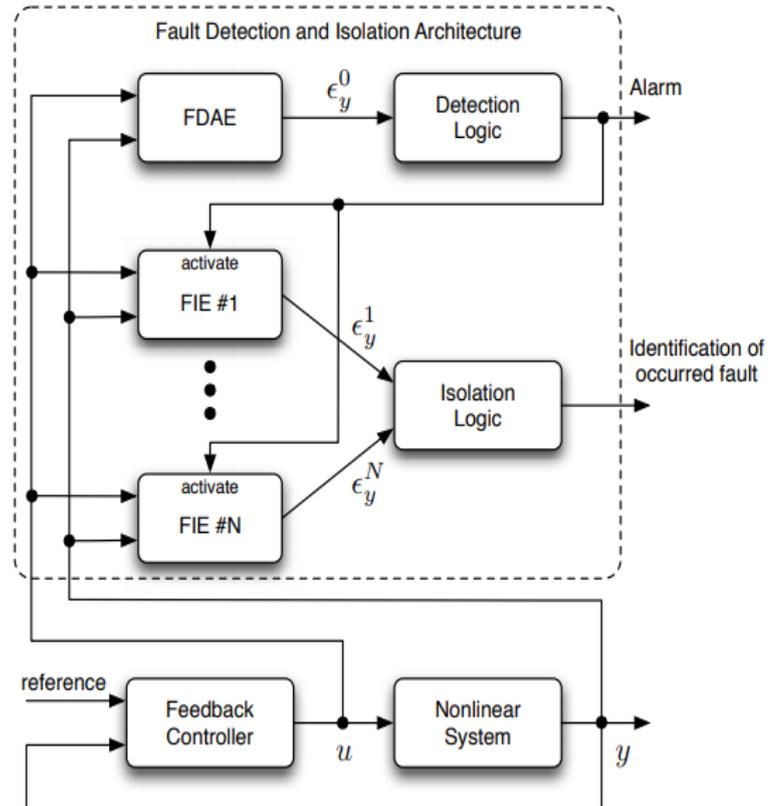
Le système réel utilisé dans notre étude est un benchmark réalisé par [odgaard 2009] , le modèle mathématique de surveillance aussi et réalisé et validé par [zhong2009], ce dernier système se comporte plusieurs sous système : modèle de système pitch (blade&system pitch), modèle des capteurs (sensor), contrôleur(controller), modèle du vent(wind model), générateur et convertisseur(generator&converter), multiplicateur de vitesse(drive train) et enfin un observateur (FDI système)

### 4.1. Méthode de détection des défauts de capteur et d’actionneur dans le système de calage à base d’observateurs

L’objectif de la FDI du système d’angle de calage est de détecter et d’isoler un défaut dans l’une des deux mesures de capteur d’angle de calage (c.-à-d. défaut dans  $\beta_i$  m1 ou

$\beta_i m_2$  ). La détection de défaut peut être accomplie par une vérification simple entre les deux mesures de capteur [ $\beta_i m_1 - \beta_i m_2$ ]. Après la détection de défaut, et afin de déterminer quel capteur est défectueux, une étape d'isolation de défaut (par observateur) est nécessaire. Chaque observateur est basé sur un des deux scénarios suivants:

- **Scénario1:** capteur 2 est défectueux et capteur 1 est sain
- **Scénario2:** capteur 1 est défectueux et capteur 2 est sain



**Figure3.2** ; schéma synoptique de observateur FDI SYSTEM

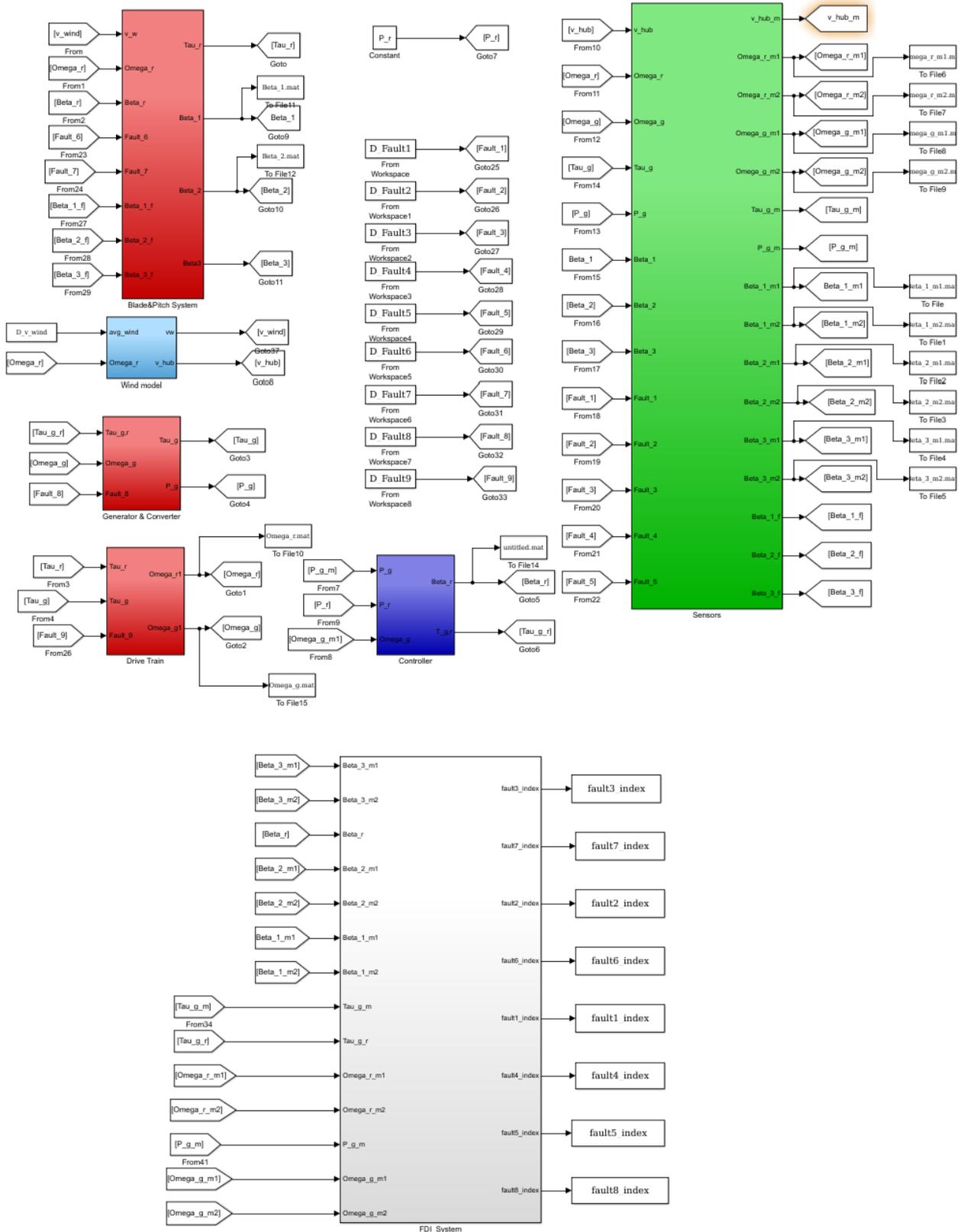


Figure 3.3 FDI BENCHMARK modèle a base d'observateur (FDI system)

### 3.5. Simulation des résultats

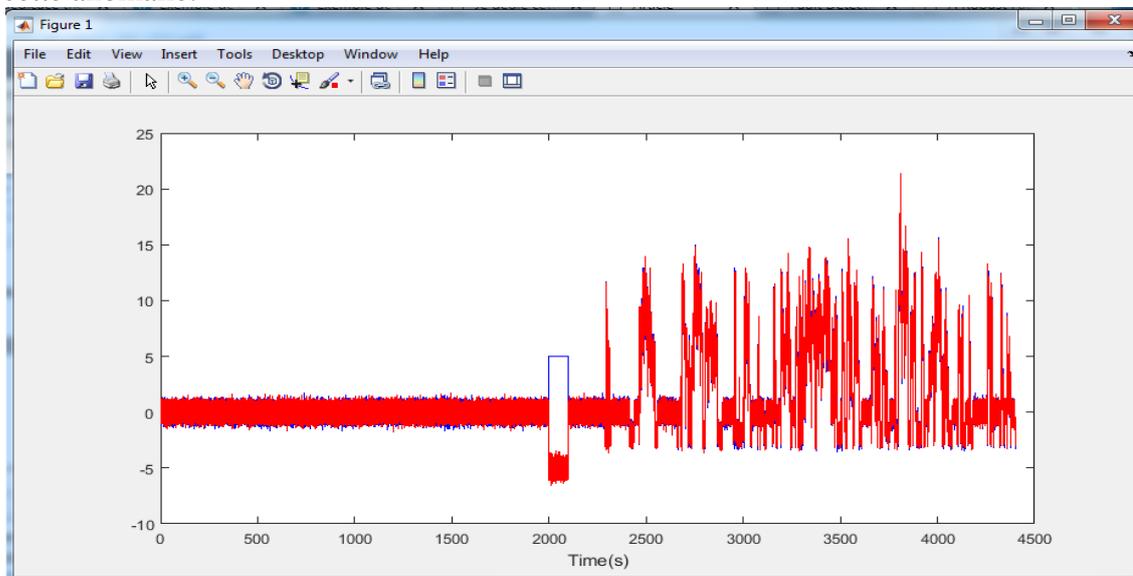
Dans cette section on va appliquer la méthode précédente, c.à.d. détection des défauts à base d'observateurs, sur deux systèmes de calage  $\beta 1, \beta 3$ .

#### 3.5.1. Système 1 (défaut valeur fixe dans $\beta 1, \beta 2$ )

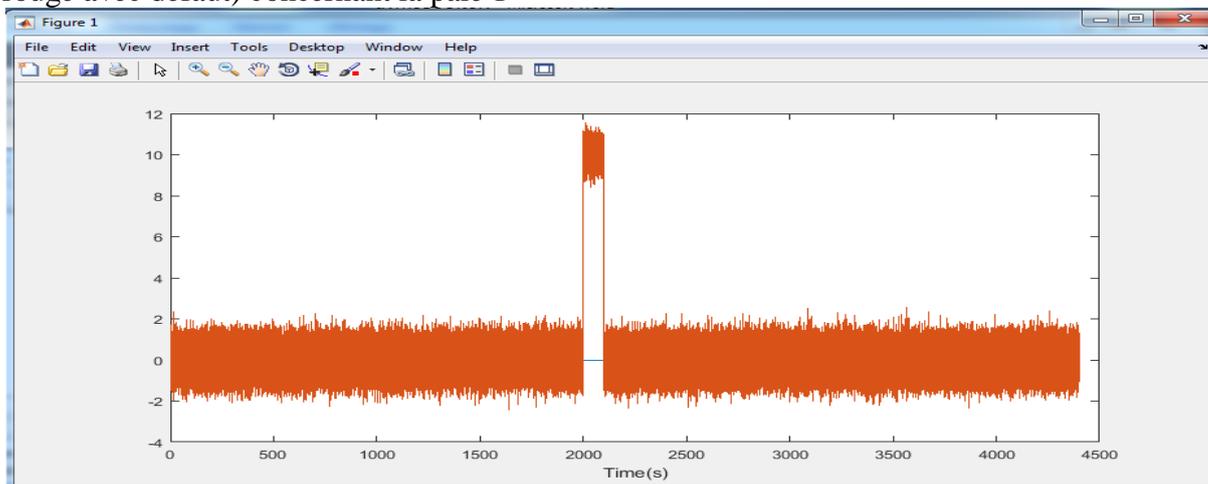
Pour le système de calage  $\beta_1$  on a introduit un défaut de capteur de type valeur fixe (défaut 1) dans la deuxième mesure de capteur  $\beta_{1,m2}$  pour l'intervalle de 2000-2100 s.

La Figure 3.4 représente les deux mesures  $\beta_{1,m1}$  (sans défaut) et  $\beta_{1,m2}$  (avec défaut) obtenus par capteur 1 et capteur 2,

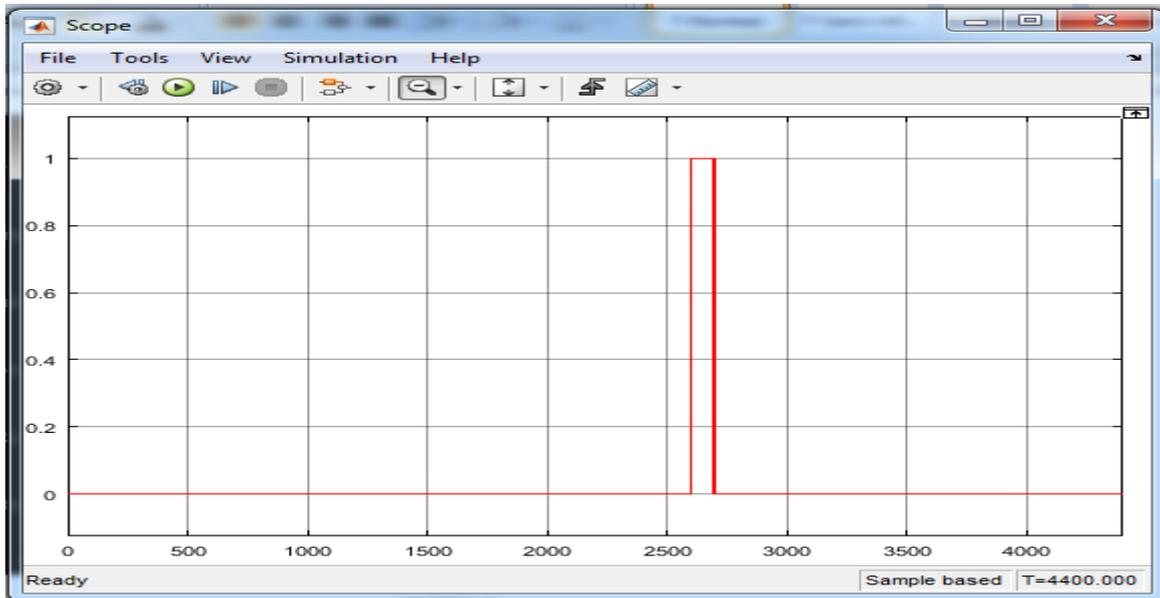
Dans le cas général, en absence de défaut les deux sorties des capteurs ( $\beta_{1,m1}$  et  $\beta_{1,m2}$ ) sont presque identiques, mais après l'apparition de défaut on peut remarquer qu'il y a au moins une des composantes de ces résidus qui réagisse à la présence de cette anomalie.



**Figure 3.4** signaux des mesures Reconstruction (en bleu sans défaut) et  $\beta_{1,m2}$  (en rouge avec défaut) concernant la pale 1



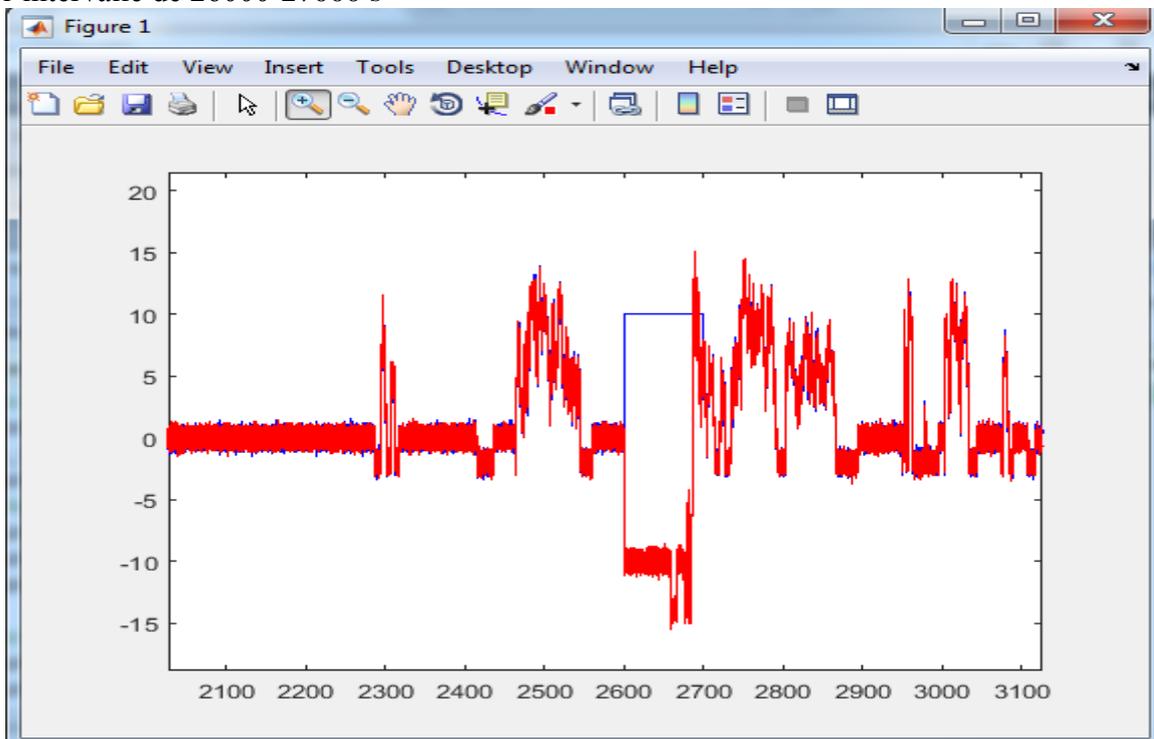
**Figure 3.5** Résidus de  $\beta_{1,m1} - \beta_{1,m2}$



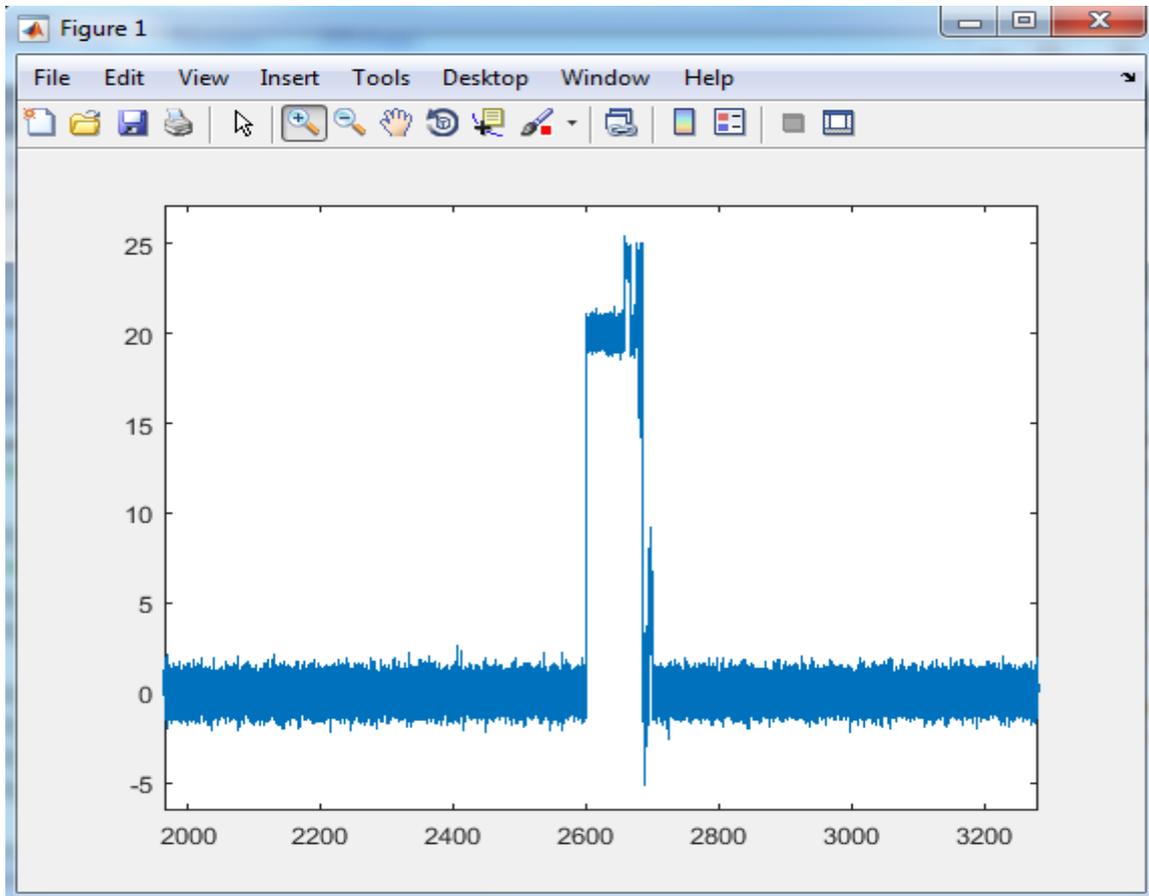
**Figure 3.6:** Donnée deliver par OBS1 (FDI SYSTEM fault3\_index)

### 3.5.2. Système 3 (défaut 3 $\beta_{3,m1}$ )

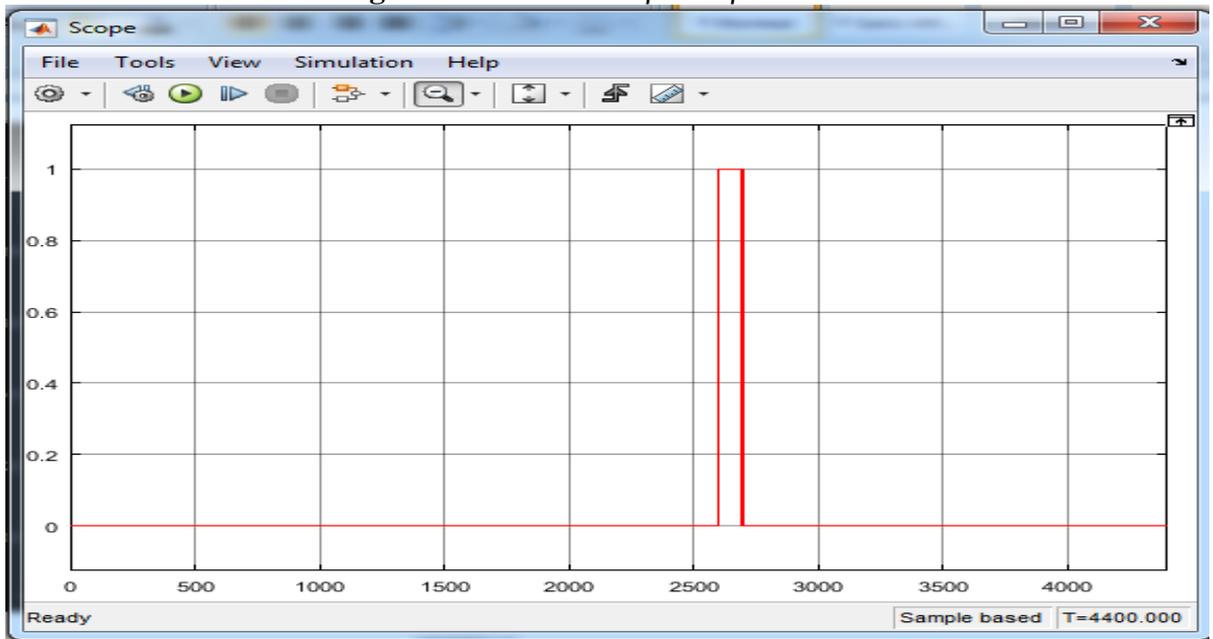
Défaut de capteur de type gain (défaut 3) dans la mesure de capteur ( $\beta_{3,m1}$ ) et dans l'intervalle de 26000-27000 s



**Figure 3.7** signaux des mesures Reconstruction  $\beta_{3,m1}$  (en bleu sans défaut) et  $\beta_{3,m2}$  (en rouge avec défaut) concernant la pale 3

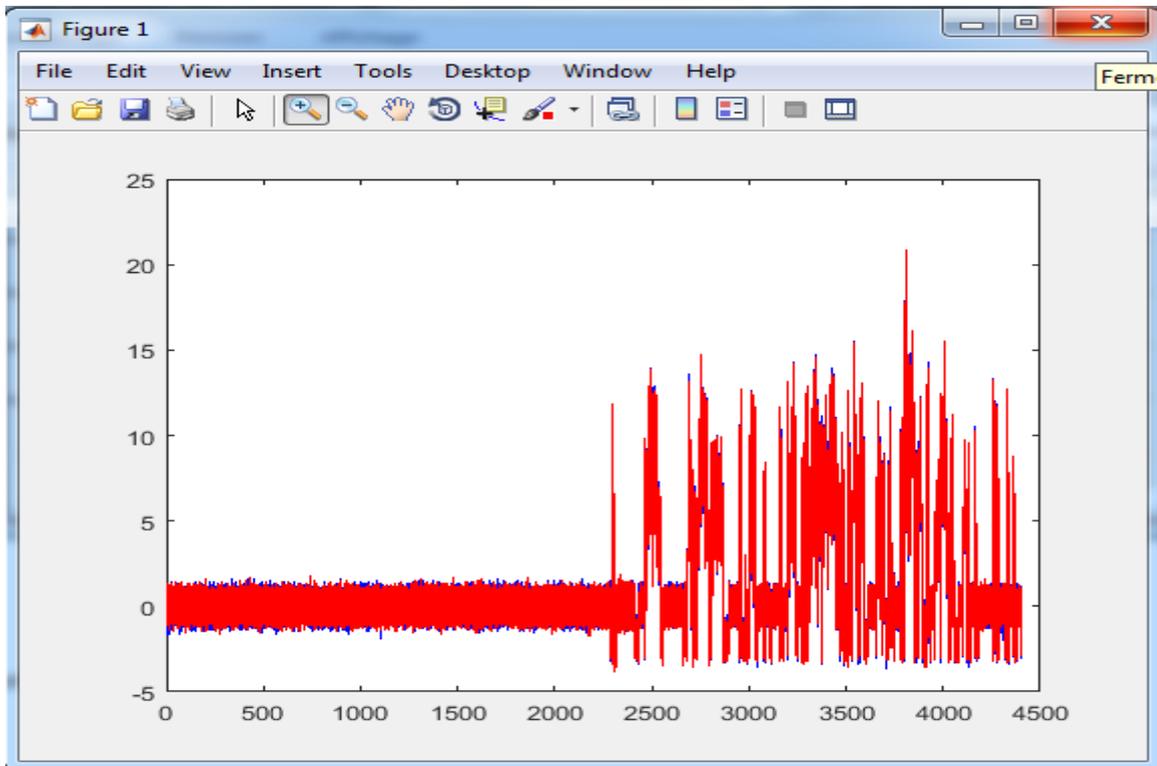


**Figure 3.9** Résidus de  $\beta_{3m1}$ - $\beta_{3m2}$

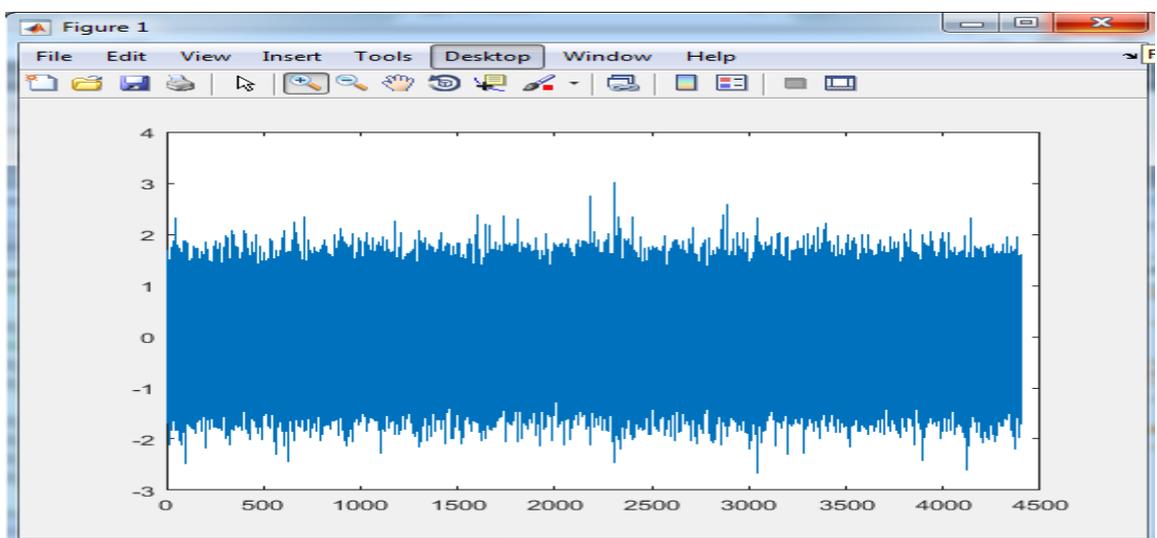


**Figure 3.10** Donnée deliver par OBS2 (FDI SYSTEM fault7\_index)

**3.5.3. Système 3 (sans défaut  $\beta_{2,m1}$  et  $\beta_{2,m2}$ ) :**



**figure 3.11** signaux des mesures Reconstruction  $\beta_{2m1}$  (en bleu) et  $\beta_{2m2}$  (en rouge) concernant la pale 2



**Figure 3.13** Résidus de  $\beta_{2m1}-\beta_{2m2}$

en absence de défaut les deux mesures des capteurs ( $\beta_{2m1}$  et  $\beta_{2m2}$  ) sont presque identiques, Alors le résidus converge vers 0

## Conclusion générale

Aujourd'hui l'éolienne apporte des développements majeurs pour augmenter la puissance produite en ajustant l'angle de calage des pales afin de capter beaucoup de vent. Donc les pales de la turbine éolienne jouent un rôle très important dans la chaîne de conversion d'énergie.

Dans ce travail, une méthode à base d'observateurs pour la détection et la localisation des défauts de capteur et d'actionneur dans le système de calage des pales éolienne est présentée. Les résultats obtenus par simulation montrent que les méthodes de diagnostic à base d'observateurs du système de calage sont très encourageantes, principalement en présence de bruits

Cet observateur permet de bonnes performances pour la détection de défauts grâce à une bonne robustesse vis-à-vis des incertitudes, des bruits et des perturbations en plus d'une détection rapide des défauts et la génération de plusieurs résidus.

# BIBLIOGRAPHIE

## CHAPITRE I

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

Dehoum Fawzi & Djeddou Lakhdar, Cheriat El hachemi «Commande vectorielle d'une génératrice asynchrone double alimentation «GADA» pour l'utilisation de l'énergie éolienne», Thèse de d'ingénieur, Université M'sila, 2011.

Saki Ali & Belaidi Mourad «Etude d'un Générateur Asynchrone dans La Production d'Energie Electrique par Eolienne», Thèse de d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, 2006.

Frédéric POITIERS «Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne», Thèse de doctorat, Université de Nantes, Décembre 2003.

## CHAPITRE II

Jolliffe, I.T. Principal components analysis. Springer-Verlag Press, 1986

Pessel, N., Balmat, J.F., Lafont, F., Bannal, J. An Improved Fault Detection for the Diagnosis, in Proceeding of the 9th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modeling & Simulation. Turkey. pages: 27-29, 2007.

Busvelle, E., et Gauthier, J. P. Observation and identification tools for nonlinear systems application to a fluid catalytic cracker. International Journal of Control, 78(3), 2005.

Villemeur A., Sécurité de fonctionnement des systèmes industriels. Fiabilité Facteurs humains Informatisation. Eyrolles, 1988.

Evans, F.A., Wilcox, J.C. Experimental strapdown redundant sensor inertial navigation system, Journal of Spacecraft 7(9), 1970

Mironovski, L.A. Functional diagnosis of dynamic system - a survey, Automation Remote Control 41, pages: 1122-1143, 1980.

Isermann, R. Process Fault diagnosis based on modeling and estimation methods - A survey. Automatica, vol. 20, pp. 387-404, 1984.

Constantinescu, R.F, Lawrence, P.D., Hill, P.G., Brown, T.S. Model-based fault diagnosis of a two-stroke diesel engine, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1995

Jiang, T., Khorasani, K., Tafazoli, S. Parameter estimation-based fault detection, isolation and recovery for nonlinear satellite models. IEEE Trans. Control Syst. Technol., 16(4):799-808, 2008.

Beard, R.V. Failure accommodation in linear systems through self-reorganization, Rapport technique, Man. Vehicle Lab, MIT, 1971

Edelmayer, A., Bokor, J., Keviczky, L. 12 detection filter design for linear systems: Comparison of two approaches. In Proceeding of the 13th IFAC World Congress, USA, 1996.

Frank, P.M., Schreier, G., Garca, E. A. New Directions in nonlinear observer design, volume 244/1999 of Lect. Notes Contr. Inform. Sci., chapter Nonlinear observers for fault detection and isolation, pages 399- 422. Springer Berlin / Heidelberg, 1999

Zhong, M., Ding, S., Lam, J., Wang, H. An LMI approach to design robust fault detection filter for uncertain lti systems. Automatica. Vol 39(2). Pages : 543-550, 2003.

Zadeh, L. Fuzzy sets. Information Control, vol. 8, pages: 338-353, 1965.

Travé-Massuyès, L., Dague, P., Guerrin, F. (1997). Le Raisonnement qualitatif pour les sciences de l'ingénieur. Editions Hermes, Paris.

## CHAPITRE III

Odgaard, P.F., Stoustrup, J., Kinnaert, M., 2009. "Fault Tolerant Control of Wind Turbines - a benchmark model," In Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, Barcelona, Spain, Jun, pp. 155- 160.

Odgaard, P.F., Stoustrup, J., 2012. "Fault Tolerant Control of Wind Turbines using Unknown Input Observers," In Proceedings of the 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, August 29-31. National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico.

Zhang, X., Zhang, Q., Zhao, S., Ferrari, R., Polycarpou, M. M., Parisini, T., 2011. "Fault Detection and Isolation of the Wind Turbine Benchmark: an Estimation-based Approach," In Proceedings of the 18th International Federation of Automatic Control World Congress (IFAC), August 28 - September 2. Milan, Italy

Esbensen, T., Sloth, C., 2009. Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control of Wind Turbines, Master's Thesis, Aalborg University, Denmark

Riccardo M.G. Ferrari 2008 American Control Conference Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, USA June 11-13, 2008  
2008 American Control Conference Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, USA June 11-13, 2008