



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2021

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

**Filière :** Energies renouvelables

**Spécialité :** Energies renouvelables en Electrotechnique

Présenté par :

MEHIDI Dahia

FATMI Abdennour

### Intitulé du sujet

Maintenance d'un MICROGRID par l'utilisation de la méthode **PHM**

Soutenu le 14 / 10 / 2021 devant le jury composé de :

Président :	BENOUALIMohammed	MAA	Université de Mostaganem
Examineur :	CHAOUCH Abdallah	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	GHOMRI Leila	MCA	Université d'Oran

Année Universitaire 2020/2021

# *Remerciements*

*Je remercie Mme Ghomri Leila, Professeur*

*Au département de génie électrique, d'avoir accepté la direction scientifique de ces travaux de recherche. Je lui exprime toute ma gratitude pour son expérience, sa compétence multidisciplinaire, son soutien inconditionnel et ses qualités humaines.*

*Je remercie tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux:*

*Mr Benouali Mohammed, Professeur à l'Université, Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse.*

*Mme Chaouche Abdallah , Professeur à Abdelhamid Ibn Badis*

*Mostaganem, pour sa participation au jury et pour l'intérêt qu'il a montré pour mes travaux.*

**Merci**

## DEDICACE

*Je dédie ce travail A ma chère maman, la personne qui a beaucoup sacrifié pour moi sans elle Je n'aurais eu la volonté d'atteindre ce niveau .Que Dieu puisse la garder éternellement heureuse .Merci du fond du cœur. A mon cher père qui m'a toujours aider et soutenir dans les moments difficiles que dieu le garde.*

*A ma chère femme qui m'a toujours soutenu et a mes jolies enfants Siraj et Riad.*

*A ma belle mère et ma belle sœur que dieu les protège Et à tous ceux qui m'ont aidé de prêt ou de loin à finaliser cette thèse et qui m'ont contribué dans ma formation.*

*Abdenour*

*Je dédie mon travail à*  
*Mes parents pour leur encouragement, leur*  
*patience et leur amour ...ils sont*  
*L'origine de tout ce que j'ai accompli de bien,*  
*Dont le mérite, les sacrifices m'ont permis de vivre*  
*ce jour.*  
*A tous mes meilleures amies et collègues d'étude,*  
*A tous ce qu'ils ont aimé me voir à ce jour-là.*

*Dahia*

## ملخص

يؤدي تغير المناخ إلى كوارث طبيعية، تنتج انقطاعات كلية للطاقة من الصعب قبولها اجتماعيا على هذا يتم الاعتماد على شبكات صغيرة كحل لتحسين مرونة النظام في حالة وقوع كارثة طبيعية

كفاءة استخدام الطاقة لخط إنتاج الشبكة الصغيرة منخفض نسبيا بسبب الأعطال وهذا يتطلب صيانة صارمة للغاية.

الهدف من هذه الأطروحة هو تطوير إستراتيجية صيانة تنبؤية للكشف عن الأجزاء والأنظمة الفرعية التي توضح اتجاه قصير ومتوسط الأجل نحو شذوذ التشغيل أو التوقف الكامل بسبب العطل.

كصيانة للشبكات الصغيرة نستعمل طريقة **PHM** على مستويات محامل علبة التروس من توربينات الرياح.

أخيرا، تم تطوير نموذج التنبؤ الذي يعتمد على شبكات الخلايا العصبية الاصطناعية، من الإشارات الناتجة عن أجهزة الاستشعار المثبتة على النظم الفرعية المختلفة للمحامل، بهدف وجود أداة قادرة على تحديد العطل في المحامل ويسمح هذا التنبؤ حياة متبقية مفيدة.

## RESUME

Le changement climatique laissant penser que des évènements extrêmes de plus en plus fréquents, produisant des blackouts difficilement acceptables socialement.

Les micro grids sont évoqués comme une solution pour améliorer la résilience du système en cas de catastrophe naturelle.

Le rendement énergétique de la chaîne de production des **MG** est relativement bas a cause de défaillance.

Cela nécessite une maintenance très rigoureuse.

L'objectif de cette thèse est d'élaborer une stratégie de maintenance prédictive afin de détecter les pièces et sous-systèmes qui démontrent une tendance à court et à moyen terme vers une anomalie de fonctionnement ou un arrêt complet à cause de bris.

On prend comme maintenance d'un **MG** par l'utilisation de la méthode **PHM** aux niveaux d'un roulement de la boîte de vitesse d'une éolienne.

Finalemment, un modèle de pronostic basé sur les réseaux de neurones artificielles a été développé, à partir des signaux générés par les capteurs installés sur les différents sous-systèmes du roulement, avec l'objectif de se doter d'un outil capable de localiser la défaillance sur le roulement et permet la prédiction de sa durée de vie utile restante.

## ***ABSTRACT***

Climate change suggests that extreme events more and more frequent, producing blackouts that are difficult to accept socially.

Micro Grids are mentioned as a solution to improve system resilience in the event of a natural disaster.

The energy efficiency of the MG production line is relatively low because of failure.

This requires very rigorous maintenance.

The objective of this thesis is to develop a predictive maintenance strategy to detect parts and subsystems that demonstrate a short and medium-term trend towards an operating anomaly or a complete stop due to breakage.

A MG is taken as a maintenance of the PHM method at the levels of a bearing of the gearbox of a wind turbine.

Finally, a prediction model based on artificial neuron networks has been developed, from the signals generated by the sensors installed on the different subsystems of the bearing, with the objective of having a tool capable of locating the Failure on the bearing and allows the prediction of its remaining useful life.

## Table des matières

<i>Liste des symboles</i> .....	10
<b>Ac</b> courant alternatif.....	10
<b>AFNOR</b> Association française de normalisation.....	10
<b>CAES</b> stockage d'énergie par air comprimé.....	10
<b>CBM</b> condition based maintenance .....	10
<b>Cc</b> courant continue.....	10
<b>ENR</b> énergie renouvelable .....	10
<b>GMAO</b> gestion de maintenance assistée par ordinateur .....	10
<b>HFAC</b> Haute fréquence AC.....	10
Introduction Générale.....	11
<b>I. Introduction</b> .....	13
<b>II. Définition De Micro Grid:</b> .....	13
<b>III. Les Composants du Micro-Réseau :</b> .....	15
a).Unité de production (micro-sources):.....	15
b).Stockage de l'énergie (profil de puissance) :.....	15
c).Charge :.....	15
d).Interfaces de la puissance électronique.....	16
<b>IV. Fonctionnement :</b> .....	16
<b>V. Classification des Micro grids</b> .....	17
<b>V.1 AC Micro grids</b> .....	17
<b>V.2 DC Micro grids</b> .....	18
<b>V.3 Micro grid hybride couplé</b> .....	18
<b>VI Exemples Des Micro-Grids</b> .....	19
<b>VI. a) micro-grid au Japon</b> .....	19
<b>VI. b) exemple en alaska :</b> .....	20
<b>VII.3. Micro-Grid Et Systèmes Hybrides</b> .....	20
<b>VII.4. Stockage d'énergie</b> .....	22
<b>VII.4.1.Les solutions de stockage d'énergie se divisent en quatre catégories :</b> .....	22
<b>VII.4.2.Comparaison des différentes technologies de stockage</b> .....	23
<b>VII. Les avantages et Les inconvénients des micro grids</b> .....	24
a).Les avantages : .....	24
b).Les inconvénients.....	25
<b>VIII. CONCLUSION :</b> .....	25
<b>2.1 Les définitions de maintenance :</b> .....	29
b- <b>Définition de la maintenance selon l'AFNOR par la norme NF X 60-010 :</b> .....	29

c-	Définitions de la maintenance selon l'afnor par la norme NF EN 13306 X 60- 319 :.....	30
2.3	Les différents types de maintenance :.....	31
2.4	La Maintenance préventive :	
a-	Buts de la maintenance préventive : .....	31
b-	Les types de maintenance préventive : .....	32
2.5	La maintenance corrective : .....	33
c-	Application des méthodes de maintenance.....	34
III.	Maintenance dans les réseaux électriques [23].....	34
IV.	Choix de politique de maintenance d'un système : .....	35
V.	Conclusion.....	36
I.	Concepts de base sur l'exploitation et la maintenance des micro grids : .....	38
II.	Définition de la méthode PHM (Pronostic Health Maintenance) .....	38
III.	Les algorithmes utilisés dans la PHM : .....	38
III.1	Approches basées sur le modèle physique : .....	39
III.	Approches hybrides : .....	39
IV.	Les avantages de la PHM : .....	40
V.	La maintenance des éléments constituant un micro réseau : .....	40
a)	Maintenance préventive.....	40
b)	Maintenance curative .....	41
c)	Fréquence des contrôles.....	41
VI.	Métiers et coût de la maintenance des éoliennes.....	42
I.	Opérateurs .....	42
II.	Le Coût .....	42
VII.1.	La liste des composants d'une éolienne est présentée ci-dessous : .....	43
VII.2.	Utilisation de la méthode PIEU pour déterminer les éléments critiques : .....	45
VII.3.	Le système de contrôle et d'acquisition des données SCADA .....	46
IX.	Surveillance des roulements.....	47
X.	Application de la PHM avec le modèle a base de réseaux de neurones :.....	49
1.	Définition des Réseaux de Neurones Artificiels .....	49
2.	Fonctionnement d'un réseau de neurones artificiel .....	49
XI.	Calcul du paramètre RUL à partir du modèle de Paris :.....	52
1.	Application : .....	53
VIII.	Conclusion.....	60



# *Liste des figures*

<b>Figure I.1:</b> application de micro grid de quelque KW à MW [16] .....	13
<b>Figure .I.2:</b> Architecteur d'un micro grid [6] .....	15
<b>Figure. I. 3</b> classification des Micro grid.....	17
<b>Figure .I.4</b> Configuration d'un micro grid DC .....	18
La figure I.5 montre le diagramme de bloc d'un micro grid hybride. ....	19
<b>Figure. I.5</b> diagramme de bloc d'un micro grid.....	19
<b>Figure I.6:</b> le micro grid de NTT à Sendia, au Japon [06] .....	19
<b>Figure I .7.</b> Selawik alaska [06].....	20
<b>Figure I.8.</b> Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque / éolien [12] .....	21
<b>FigureI 9.</b> Les différents types de stockage.....	23
<b>Figure I.10</b> Axes de comparaison des différentes technologies de stockage source CEA Liten.....	23
<b>Figure II 1 :</b> les étapes de la maintenance [22] .....	29
<b>Figure II 2:</b> Types de Maintenance .....	31
<b>FigureII 3</b> Application des méthodes de maintenance [22].....	34
<b>Figure.III. 1</b> Composition de la nacelle d'une éolienne .....	44
<b>Figure.III. 2</b> Temps d'arrêt des composants d'éoliennes en Allemagne .....	44
<b>Figure.III. 3</b> Chaîne et matériel d'acquisition.....	48
<b>Figure.III. 4</b> La structure du modèle développé.....	50
<b>Figure.III. 5</b> Schéma de la structure du système de base de connaissances sur l'exploitation et la maintenance [41] .....	51
<b>Figure.III. 6</b> le cycle de la PHM .....	52
<b>Figure.III. 7</b> Exemple simple de pronostics utilisant le modèle de droit des paroisses [43].....	52
<b>Figure.III. 8</b> un organigramme de l'approche intégrée adoptée (modèle hybride) pour la dégradation de la hssb prévue par les modèles physiques, avec l'aide de méthodes fondées sur des données.....	54
<b>Figure.III. 9 :</b> modélisation par Simulink de la commande de l'éolienne par les réseaux de neurones	56
<b>Figure.III. 10</b> Performances de validation .....	58

# *Liste des symboles*

**Ac** courant alternatif

**AFNOR** Association française de normalisation

**CAES** stockage d'énergie par air comprimé

**CBM** condition based maintenance

**Cc** courant continue

**ENR** énergie renouvelable

**GMAO** gestion de maintenance assistée par ordinateur

**HFAC** Haute fréquence AC

**HSS** L'arbre à grande vitesse

**KW** Kilo watt

**LSS** L'arbre à faible vitesse

**MW** Mega watt

**NTIC** nouvelles technologies de l'information et des communications

**Mg** micro grid

**PIEU** La méthode de quatre références pour vérifier l'état de chaque composant

**PHM** Pronostic Health Maintenance

**PFAC** fréquence industrielle

**PV** photo voltaïque

**RIS** Réseaux Isolés du Sud

**RIN** Réseau Interconnecté Nord

**RUL** la durée de vie utile restante

**RNA** Réseaux de Neurones Artificiels

**SWA** des micro-réseaux à courant continu

**STEP** stations de transfert d'énergie par pompage

**SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition)

Le système de contrôle et d'acquisition de données

## Introduction Générale

Aujourd'hui, grâce à l'évolution du réseau actuel dans le but de satisfaire à la demande croissante d'électricité surtout dans les périodes de pointes qui poseront des problèmes néfastes, et pour répondre à ce besoin, les réseaux électriques doivent devenir plus communicants.

Ils bénéficient pour cela les Nouvelles Technologies d'Information et de Communication.

Le réseau électrique intelligent ou Smart Grid est l'un des développements récents dans le domaine des systèmes électriques qui facilite l'utilisation de nouvelles sources d'énergie en parallèle avec les sources d'énergie conventionnelles.

Le Smart Grid révolutionne l'infrastructure actuelle du réseau électrique par l'intégration de technologies de l'information et de la communication, qui permettra aux fournisseurs et aux clients de transférer, surveiller, prévoir et gérer efficacement la consommation d'énergie.

L'intégration des énergies renouvelables au réseau électrique pose des défis techniques.

L'intermittence des ressources peut avoir un impact sur la stabilité et la fiabilité du système d'alimentation, ainsi que sur la qualité de service des utilisateurs. Par conséquent, la surveillance et le contrôle des Smart Grids sont essentiels pour garantir un bon fonctionnement.

Dans ce projet, nous sommes intéressés à la maintenance d'un micro gride par la méthode de PHM (pronostic health maintenance)

### **Le mémoire est structuré sur trois chapitres :**

Dans le premier chapitre nous présentons des généralités sur micro gride et l'architecture d'un micro grid ainsi le principe du fonctionnement avec l'intégration des sources d'énergie renouvelables, après les avantages et les inconvénients et on finit par une petite conclusion.

Le deuxième chapitre présente une généralité des composants d'un micro grid ainsi la définition et l'objectif de la maintenance et les différents types de maintenance

Dans le troisième et dernier chapitre, nous présentons la définition de la méthode PHM et les avantages et les inconvénients de cette méthode après en fait une démonstration sur la maintenance d'une éolienne dans un micro réseaux MG et on fini par l'application de cette méthode sur un roulement d'une éolienne.

Terminerons ce travail par une conclusion générale.

# CHAPITRE 1

## I. Introduction

L'intégration des technologies de l'information et de la communication aux réseaux les rend communicants et permet de prendre en compte les besoins des acteurs du système électrique, tout en assurant un acheminement d'électricité plus efficace, sûr et économiquement viable. [1]

Le développement futur du système électrique devrait conduire à privilégier le déploiement des technologies de Microgrid, notamment pour en réduire le coût.

Le micro grid est une version réduite d'un réseau électrique classique. L'énergie y est apportée directement à un groupe d'utilisateurs au départ d'une production locale.

Un micro grid est donc un sous-système qui n'est connecté au réseau général qu'en un seul point. Cette connexion agit comme un interrupteur qui permet de « débrancher » le micro grid du réseau public. En cas de panne par exemple, il peut temporairement fonctionner de façon autonome, en « îlot ». [2, 3,4]

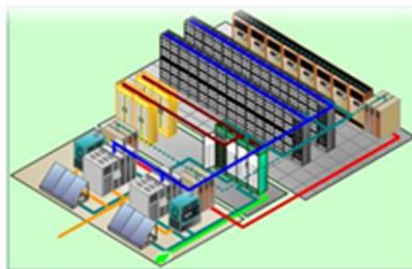
## II. Définition De Micro Grid:

Les micro grids sont des réseaux de petite taille, contenant des sources de production dont la capacité installée totale varie entre quelques dizaines de kW et ~10 MW, caractérisés par une optimisation locale du couple énergie réseau : l'équilibrage production – consommation se fait prioritairement à la maille locale. [2]

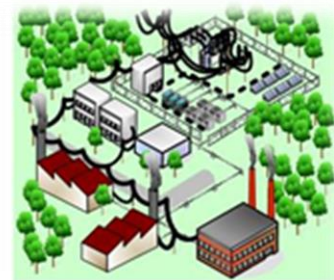
Résidence



Centre de données



Campus



Fable puissance

Moyen puissance

Haute puissance

Figure I.1: application de micro grid de quelque KW à MW [16]

Ces micro grids permettent d'assurer l'alimentation de « sites » de différentes natures : îles, campus, aéroports, zones industrielles, éco quartiers, communautés résidentielles, etc.

Ces sites peuvent être isolés (zones insulaires, sites industriels isolés tels que des mines, bases militaires en opération ou électrification rurale dans des pays en voie de développement par exemple) ou être par ailleurs connectés à un réseau de distribution régional/national.

Dans les zones connectées, un micro grid est caractérisé par sa capacité à s'isoler du réseau et à fonctionner en autonomie (en « ilotage ») pendant au moins plusieurs heures.

Deux notions sont donc essentielles au dimensionnement du micro grid:

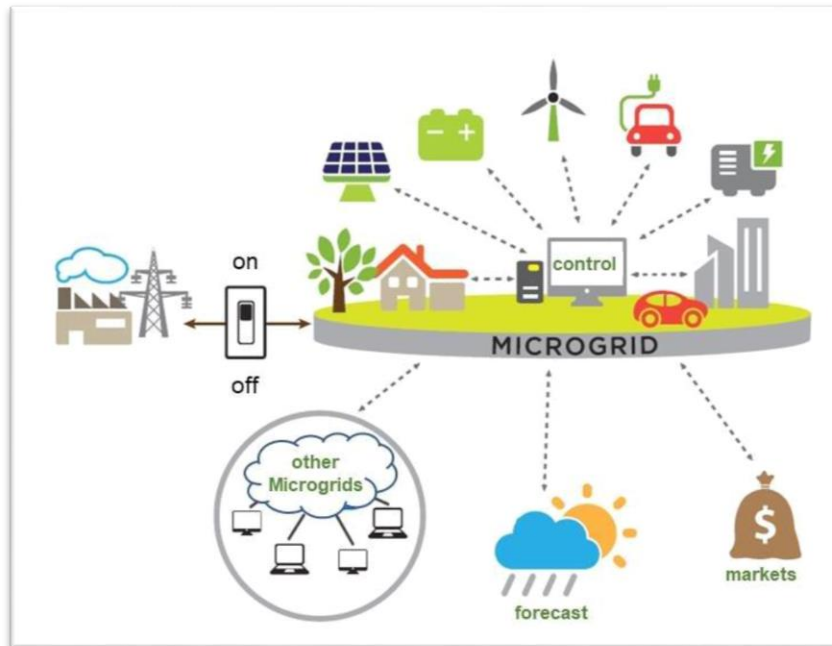
Le taux de couverture du besoin souhaité, c'est-à-dire la fraction de l'électricité consommée annuellement qui est produite localement,

La capacité d'ilotage souhaitée, c'est-à-dire la durée consécutive pendant laquelle le micro grid peut être autonome.

Les micro grids répondent à des besoins variés :

- ✓ Accès à l'électricité en situation isolée (off-grid)
- ✓ Résilience aux évènements climatiques extrêmes
- ✓ Affichage d'une certaine « autonomie énergétique »
- ✓ Encouragement local au développement des ENR, bénéfique d'emplois locaux, amélioration globale de l'acceptabilité locale des ENR.
- ✓ Instrument de pilotage de la consommation et réduction de l'empreinte carbone des sites concernés dans le cadre d'un projet de micro grid.
- ✓ Compétitivité économique par rapport à l'électricité fournie par le réseau principal. [5]

### III. Les Composants du Micro-Réseau :



**Figure .I.2:** Architecteur d'un micro grid [6]

Un micro grid est composé des éléments suivants :

**a).Unité de production (micro-sources):**

- ✓ Modules Pv
- ✓ Aérogénérateurs
- ✓ Piles à combustible
- ✓ Micro turbines

**b).Stockage de l'énergie (profil de puissance) :**

- ✓ Batteries
- ✓ Ultra condensateurs
- ✓ Volants d'inertie

**c).Charge :**

- ✓ Charges électroniques
- ✓ Hybrides rechargeables
- ✓ Le réseau principal

#### **d).Interfaces de la puissance électronique**

- ✓ convertisseurs cc-DC
- ✓ onduleurs
- ✓ redresseurs

#### **IV. Fonctionnement :**

Pour pouvoir fonctionner, un micro-grid doit comporter trois éléments indispensables.

Une installation de production d'énergie locale pour assurer son autonomie en cas de déconnexion du réseau public (panneaux photovoltaïques, éoliennes, cogénération, pompe à chaleur, centrale biomasse, turbine hydro-électrique) et, en plus, un système de production de secours (groupe électrogène).

En théorie, les micro grids peuvent être complètement déconnectés du réseau. Toutefois, en pratique, ce n'est pas (encore) le cas.

Un système de stockage : batteries, réserve d'eau pour pompage-turbinage et dans l'avenir, super condensateurs et stockage chimique de chaleur latente.

Un système de gestion intelligente pour assurer l'équilibre constant entre production et demande d'électricité.

Les micro grids ne transmettent pas seulement de l'énergie mais aussi des informations.

Grâce à ces informations, ces réseaux peuvent s'autogérer via des applications informatiques automatisées qui tiennent compte: [7]

- des pics de demande et de production.
- des tarifs variables selon le moment de la journée et les conditions météo.
- de la capacité de production des éoliennes, panneaux solaires ou centrales hydrauliques.

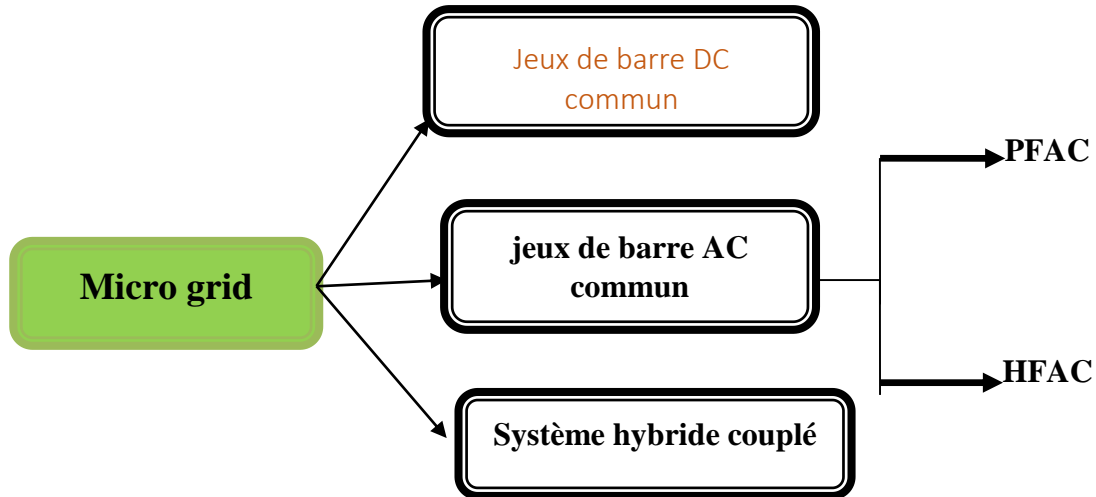
Selon les circonstances, ces applications informatiques peuvent ainsi décider de déconnecter le micro-réseau du réseau général, de lancer le chargement d'une voiture électrique ou au contraire de récupérer l'électricité stockée dans ces batteries.

Leur but de cette gestion informatique : garder le micro grid en équilibre, utiliser l'énergie de la façon la plus efficace et au meilleur prix possible. [8]



## V. Classification des Micro grids

En général, les micro grid sont classés en trois catégories : AC, DC et micro grids hybrides :



**Figure. I. 3** classification des Micro grid

### V.1 AC Micro grids

La distribution AC est la structure la plus populaire et la plus couramment utilisée pour les études et les implémentations de micro grid. Dans cette architecture, la production, la distribution et les charges sont à AC. Distribués sources et les dispositifs de stockage d'énergie sont distribués d'AC par des onduleurs. En utilisant les Infrastructure réseau AC (distribution, transformateurs, protection, etc.), les micro grids AC sont plus faciles à concevoir et à mettre en œuvre.

#### V.1 a- PFAC (a fréquence industrielle)

Toutes les sources peuvent être connectées au bus PFAC directement ou via leur unité de conditionnement d'alimentation respective.

Cet arrangement est plus fiable car toute énergie défectueuse peut être isolée du reste du système sans impacter l'une des autres ressources énergétiques.

#### V.1 b- HFAC (Haute fréquence AC)

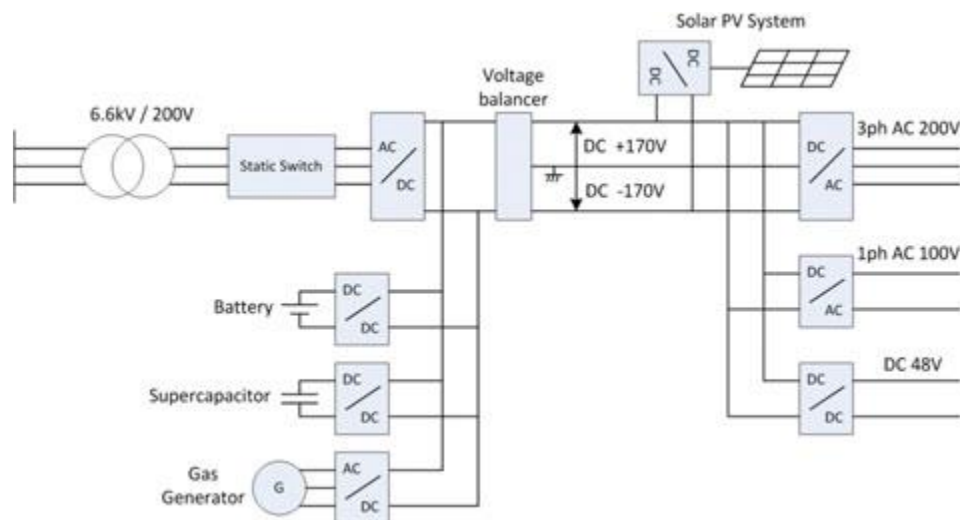
Les sources d'énergie peuvent être connectées soit directement, soit via leur unité de conditionnement d'énergie respective.

- Avoir une efficacité globale plus élevée.
- Les harmoniques d'ordre supérieur peuvent être facilement filtrés à des fréquences plus élevées.
- Réduction de la taille physique et du poids des filtres harmoniques.

## V.2 DC Micro grids

La distribution de DC permet d'améliorer l'efficacité en réduisant étapes de conversion de l'énergie pour les générations et l'énergie basées sur la DC éléments de stockage. En outre, il y a moins de problèmes de stabilité dans un système de distribution DC, et le contrôle de tension est moins compliqué.

En outre, l'architecture permet une tension plus large variations puisque les convertisseurs sont utilisés pendant des générations et des charges. Il n'est pas nécessaire de synchroniser et de contrôler la puissance réactive [9].



**Figure .I.4** Configuration d'un micro grid DC

## V.3 Micro grid hybride couplé

Les micro grids hybrides tentent d'utiliser l'avantage des concepts DC pour améliorer l'efficacité. Ils comprennent à la fois AC et les sections DC avec des générations et des charges spécifiques. Énergie transfert entre les sections AC et DC sont réduits au minimum pour éviter perte de conversion. Les convertisseurs interfacent sont utilisés pour fournir prise en charge active de la puissance aux deux sections et prise en charge réactive de la puissance au système AC. [10,11]

La figure I.5 montre le diagramme de bloc d'un micro grid hybride.

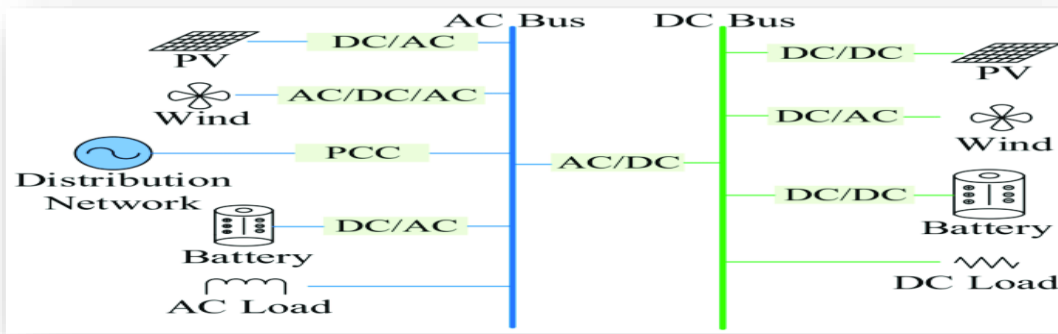


Figure. I.6 diagramme de bloc d'un micro grid

## VI Exemples Des Micro-Grids

### VI. a) micro-grid au Japon

Les micro grids alimentés par l'électronique de puissance pourraient être la solution pour assurer une alimentation électrique résiliente en cas de catastrophe (par exemple voir la figure suivante) :

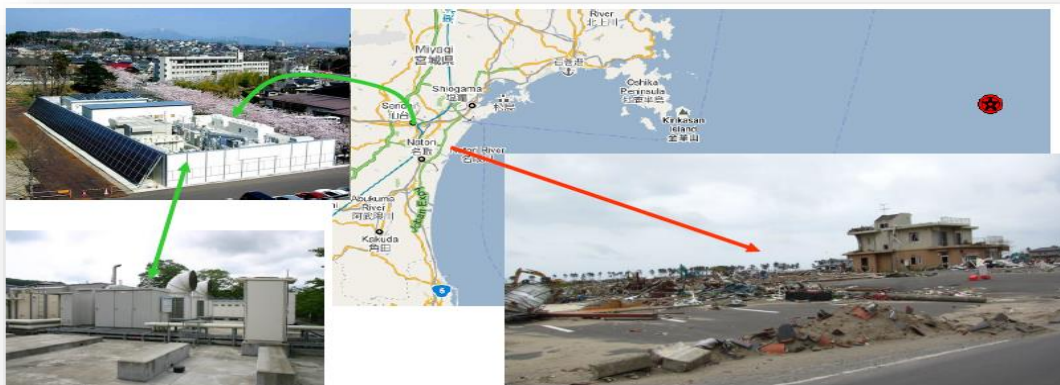


Figure I.7: le micro grid de NTT à Sendia, au Japon [06]

Il s'agit d'un concept de micro-réseau proposé afin d'utiliser davantage de sources renouvelables dans les réseaux de communication sans fil en créant des zones sans fil dites durables.

## VI. b) exemple en alaska :



**Figure I .8. Selawik alaska [06]**

Réseaux de communication sans fil en créant des zones sans fil dites durables  
les SWA sont des micro-réseaux à courant continu (par exemple 380 V) créés en interconnectant quelques stations de base (par exemple avec, éventuellement, une architecture de distribution d'énergie avancée.

Les sources d'énergie renouvelables sont placées dans la station de base ou dans des endroits proches où il y a suffisamment d'espace.

Les ressources (production d'énergie et stockage de l'énergie) sont partagées entre toutes les stations de base de la zone SWA. [06]

### VII.3. Micro-Grid Et Systèmes Hybrides

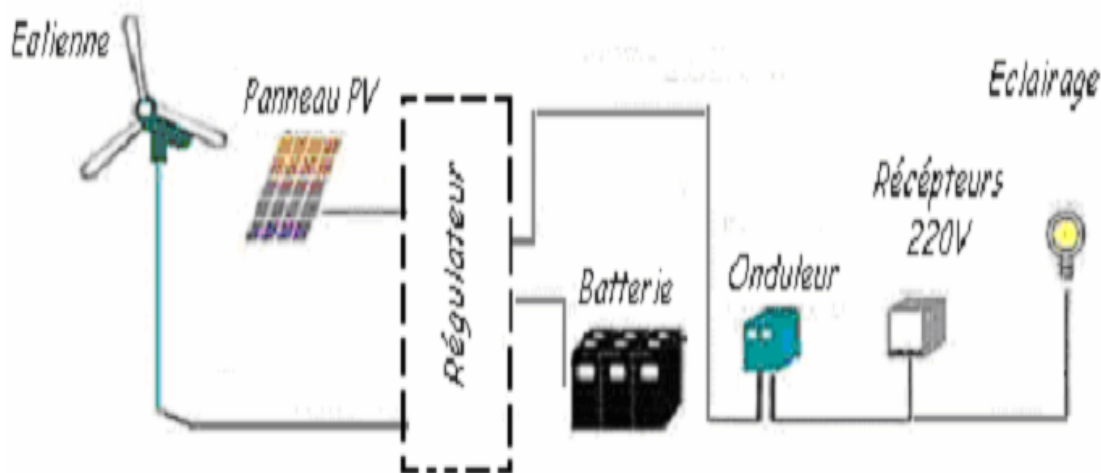
Les avancées en matière de système ont mené à des technologies d'énergie décentralisées de plus en plus compactes, accessibles, efficaces et bien adaptées à des contextes spécifiques.

Ainsi, et à titre d'exemple, les configurations classiques d'alimentations électriques de secours, notamment à base de groupes diesel, ont également évolué avec l'avènement des énergies renouvelables pour donner naissance à des micro-réseaux locaux, où un mix énergétique beaucoup plus évolué assure un approvisionnement mieux sécurisé, fiable et de qualité.

Plus encore, les convertisseurs électroniques de puissance qui sont derrière la souplesse remarquable du contrôle de l'énergie générée par les diverses sources mises en parallèle, ont

également permis l'introduction de nouveaux modes de gestions assez élaborés des micro-réseaux en question.

Ainsi, si ces derniers sont à l'origine conçus pour être interconnectés avec le réseau principal et permettre des échanges pouvant être contrôlés selon des stratégies commerciales précises ou autres, ils sont également dimensionnés pour assurer en toute autonomie l'approvisionnement de l'ensemble des clients selon les indications contractuelles en vigueur.



**Figure I.9.** Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque / éolien [12]

Ceci étant en cas de défaillance du réseau principal ou baisse de la qualité de ses services.

De tels concepts de micro-réseaux, sont considérés comme étant des solutions potentielles à développer en masse dans le cadre des réseaux électriques du futur et de ce fait, plusieurs sites sont aménagés sous forme de projets de recherche et démonstration dans les pays précurseurs.

Dans le cas de l'Algérie, étant donnée la grande dispersion de certaines agglomérations ainsi que les populations rurales et autres groupements, notamment au niveau des hauts plateaux et le grand sud, la solution de micro-réseaux, alimentés à partir de systèmes de production hybrides, est d'actualité. Les installations déjà initiées par SKTM/ Sone gaz (diésel-solaire...), au niveau des RIS (Réseaux Isolés du Sud), sont au moins appelées dans un premier stade à évoluer pour intégrer un minimum d'installations de stockage afin d'optimiser le rendement de la partie solaire, sans parler des avantages induits en terme de flexibilité de la gestion des flux d'énergie.

A moyen terme et après murissement de leur exploitation, ces mêmes installations pourraient constituer des cas d'écoles intéressants en vue d'Inter Connecter quelques-unes si les distances le permettent ainsi que certains avantages de complémentarité de services sont identifiés.

Il reste cependant à tester également l'efficacité de ce type d'installations un peu plus au nord, notamment dans les zones plus ou moins enclavées des hauts plateaux. Dans ce cas, ce sont surtout les aléas en termes de sécurité d'approvisionnement et surtout la qualité de l'énergie desservie (baisse de tension...), inhérents à la distribution radiale d'électricité en zones rurales à partir du RIN (Réseau Interconnecté Nord), qui posent problème.

Des micro-réseaux adaptés pourraient justement atténuer ces effets, tout en créant une dynamique locale de développement autour des ressources renouvelables introduites [12]

#### **VII.4. Stockage d'énergie**

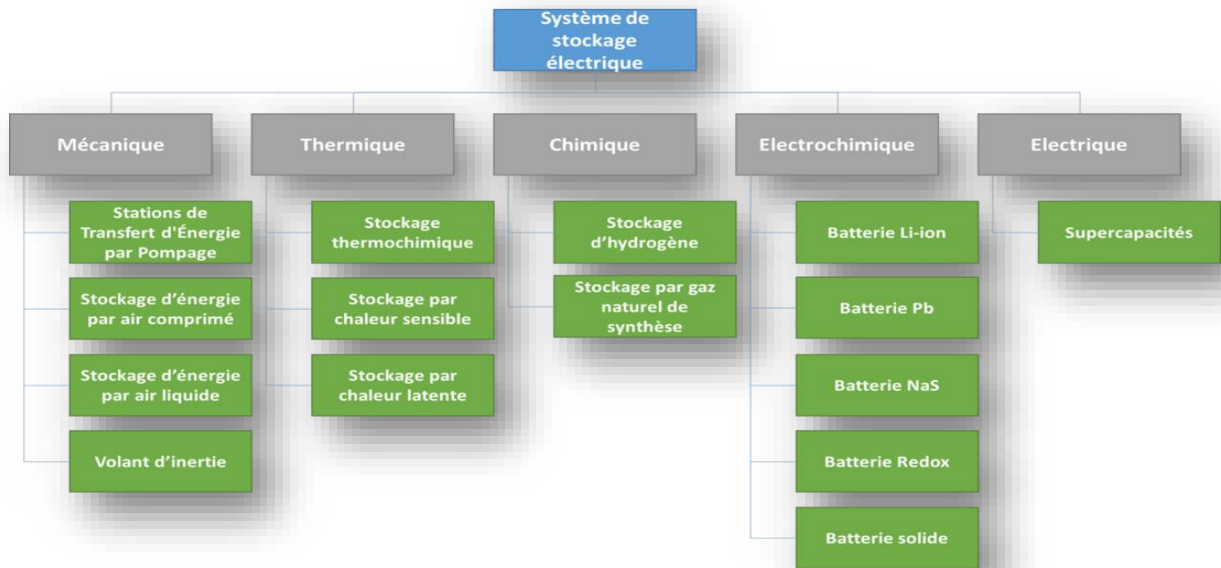
Si la majorité des énergies primaires (gaz, pétrole ou charbon) se stocke facilement, il est en revanche très difficile de stocker l'électricité en grande quantité. Cependant, il est possible de la convertir en d'autres formes intermédiaires stockables (énergie potentielle, cinétique, chimique ou thermique).

Jusque dans un relativement récent passé, seules les STEP (stations de transfert d'énergie par pompage) permettaient de stocker l'électricité dans des conditions économiques satisfaisantes.

Les autres solutions de stockage d'électricité étaient, pour la grande majorité d'entre elles, excessivement coûteuses ou insuffisamment fiables.[13]

##### **VII.4.1. Les solutions de stockage d'énergie se divisent en quatre catégories :**

- mécanique (barrage hydroélectrique, Station de transfert d'énergie par pompage - STEP, stockage d'énergie par air comprimé – CAES, volants d'inertie),
- électrochimique (piles, batteries, vecteur hydrogène),
- électromagnétique (bobines supraconductrices, super capacités),
- thermique (chaleur latente ou sensible). [14]

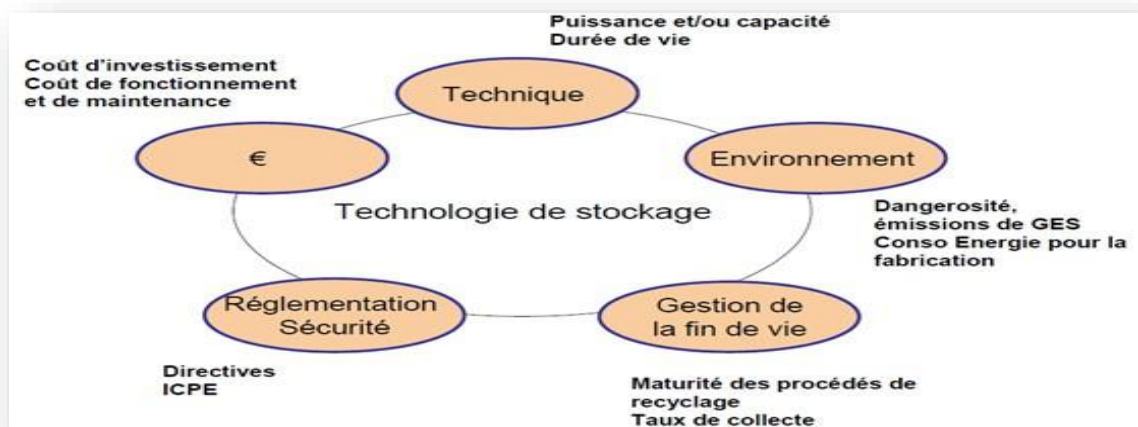


**Figure I 10.** Les différents types de stockage

#### VII.4.2. Comparaison des différentes technologies de stockage

Les technologies de stockage existantes sont nombreuses et d'autres, encore au stade de la recherche ou de l'expérimentation, se développent. Leur intégration dans les systèmes électriques soulève des interrogations quant au choix de la technologie la plus adaptée aux besoins. ([39] Yingling 2000)

En effet, chaque technologie a ses spécificités en termes de taille, de puissance délivrée, de coût, de nombre de cycles et donc de durée de vie, de densité énergétique, de maturité technologique, etc.



**Figure I.11** Axes de comparaison des différentes technologies de stockage source CEA Liten

Les micros grids sont des écosystèmes énergétiques capables de fournir des réponses concrètes aux défis de la transition énergétique.

Les micro grids permettent un accès optimisé à une énergie fiable, verte et résiliente. Ils intègrent des charges, des sources d'énergie décentralisées, du stockage et un système de contrôle. Pour comprendre ces bénéfices, la présentation préalable d'un micro grid s'impose.

## VII. Les avantages et Les inconvénients du micro grids

### a).Les avantages :

Outre les zones isolées, les micro grids pourraient bien s'avérer être une solution énergétique pérenne pour les autres territoires du fait de ses nombreux avantages :

- **Techniques** : les micro grids permettent une gestion optimale des flux d'énergie entre les organes de production (notamment renouvelable), de stockage et de consommation à l'échelle locale. En outre, potentiellement interconnectés avec le réseau public de distribution, ils offrent un service complémentaire de maintien de la stabilité de la tension électrique,

- **Economiques** : en fonction de sa taille, un micros grid peut s'ajuster à la demande d'énergie. Et grâce à la proximité entre production et consommation d'énergie, ils permettent également de diminuer les investissements de réseaux,

- **Environnementaux** : les micro grids ont vocation à intégrer les sources de production d'énergie décentralisée, dont les énergies renouvelables (EnR). Les EnR étant par essence intermittentes, les micros grids 100% EnR doivent pouvoir également moduler la consommation d'énergie en fonction de la capacité de stockage disponible et des prévisions de production, d'où l'intérêt d'associer des stations météorologiques.

il est possible d'utiliser les micros grid comme des ressources flexibles et distribuées au vu du réseau principal. Par exemple, le micros grid peut répondre à des programmes de demande-réponse ou fournir des services au réseau principal en jouant sur la génération locale, le stockage, et la gestion des charges tout en prenant en compte les contraintes des utilisateurs ou des considérations tarifaires.

- **Micro grids : un enjeu économique fort**

Les micro grids sont en effet intéressants pour les grands complexes industriels et commerciaux du fait de l'autosuffisance énergétique qu'ils peuvent fournir, c'est-à-dire la capacité d'ilotage : capacité à fonctionner sans être raccordé au réseau sur une période donnée.



Les micro grids sont un modèle d'optimisation pour le réseau électrique, et ils permettent aux clients de diminuer leurs factures énergétiques à court terme (selon le temps de retour sur investissement), d'assurer leur sécurité d'approvisionnement en énergie en cas de défaillance du réseau national en s'ilotant, et de prôner le caractère écologique de l'installation.

#### **b).Les inconvénients**

Les premiers défis soulevés par les micros grid sont d'ordre technique :

- Il faut assurer la stabilité du réseau en toutes circonstances : l'ilotage est un concept qui, bien que maîtrisé, nécessite des équipements robustes et spécifiques pour maintenir le niveau de tension, de puissance et de qualité de l'énergie pour répondre à la demande,
- Il faut assurer la sécurité électrique du micro grid déployé : en cas d'incident électrique, les protections doivent isoler la partie critique du micro-réseau afin de garantir la sécurité des hommes et des biens, et de faciliter les interventions de maintenance.

Ceci implique que l'architecture électrique du réseau ait été judicieusement pensée en phase de conception,

- Il faut améliorer les technologies de production et de stockage d'énergie : généralement, les micro grids en projet ne permettent pas encore une autonomie totale vis-à-vis du réseau électrique national. De plus, un micro grid ne reposant que sur les ENR reste encore une solution coûteuse [15,16].

### **VIII. CONCLUSION :**

La décentralisation de l'énergie constitue un développement majeur qui pourrait aider à affronter les défis énergétiques du 21<sup>ème</sup> siècle. Des évolutions technologiques et économiques permettent en effet des progrès substantiels en matière de décentralisation énergétique incorporant photovoltaïque et stockage.

L'internet des objets est aussi opérationnel et ouvre la porte à de nouvelles coopérations et de nouvelles possibilités d'optimisation.

La nature opérationnelle des micro grids est bien différente des systèmes de distribution conventionnels pour plusieurs raisons, y compris forte pénétration des DG, des sources renouvelables, de l'énergie composants électroniques et le stockage de l'énergie.

Les micro grids constituent une réponse à la transition énergétique et leurs bénéfices incluent la fiabilité énergétique, l'accès à l'énergie, l'indépendance à travers la pénétration du renouvelable, et l'optimisation de la facture énergétique.

Le futur des micro grids est difficile à prédire en l'état, mais il semble possible que nous allions vers une ère où les micro grids seront la règle et non l'exception.

Les études prospectives montrent que ce futur est techniquement faisable et pourrait être une façon d'adopter à grande échelle des ressources intermittentes telles que le solaire ou l'éolien.

Les micro grids pourraient ainsi être l'une des pierres angulaires de la transition énergétique.

Les micro grids nécessitent une maintenance pour assurer un bon fonctionnement et pour cela en va étudier la maintenance dans le chapitre suivant.

# CHAPITRE 2

## **I. Introduction :**

Comme tout système électrique ; les micro grids doivent obéir à une stratégie de maintenance adaptée d'autant plus qu'ils se composent d'une variété de sous-systèmes différents et complexes.

La base de connaissances sur l'exploitation et la maintenance intelligentes des Micro grid contient le traitement des défauts des micro réseaux, des connaissances sur la maintenance des équipements et des systèmes, est basée sur les règles d'expérience des experts en micro-réseaux et du personnel d'exploitation et de maintenance de première ligne, analyse les données d'exploitation des micro-réseaux, extrait les données de défaillance des micro-réseaux il analyse les données d'exploitation des micro-réseaux et extrait les données relatives aux défaillances des micro-réseaux ; il répertorie les phénomènes de défaillance des micro-réseaux et étudie les méthodes correspondantes d'isolation et de récupération des défaillances statistiques sur le nombre de défaillances des systèmes et des équipements du micro-réseau, le taux de défaillance, la situation de changement ; structures connaissances sur l'exploitation et la maintenance intelligentes des micro-réseaux. [17, 18,19,20]

## **II. La maintenance dans les systèmes électriques**

Le contexte actuel des systèmes électriques est marqué par la généralisation du concept de micro Grid.

Chaque acteur du réseau est en passe de devenir le lieu d'une potentielle intelligence qui agira de son propre chef ou en fonction de signaux qu'il aura reçu.

Cette multiplication des degrés de liberté au sein d'un réseau électrique ouvre de nouvelles perspectives de pilotage et de réactivité, non seulement techniques mais aussi économiques. [21]

La généralisation des énergies renouvelables (ENR) variables et distribuées rendent possibles des productions locales, remettant ainsi en cause la direction principale des flux électriques dans les réseaux de distribution.

Ces sources renouvelables sont caractérisées par leur grande variabilité et leur prévisibilité imparfaite, du fait de leur dépendance aux conditions météorologiques locales. Leur gestion implique donc de faire appel à des centrales de production plus flexibles (souvent non renouvelables), pour compenser leurs erreurs de prévision.

Il s'agit de considérer en même temps stratégies de contrôles, dimensionnement des moyens de stockages et production renouvelable fluctuante, avec modèles de vieillissements.

## 2.1 Les définitions de maintenance :

- a- Définition de la maintenance selon Larousse : « Ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement ».

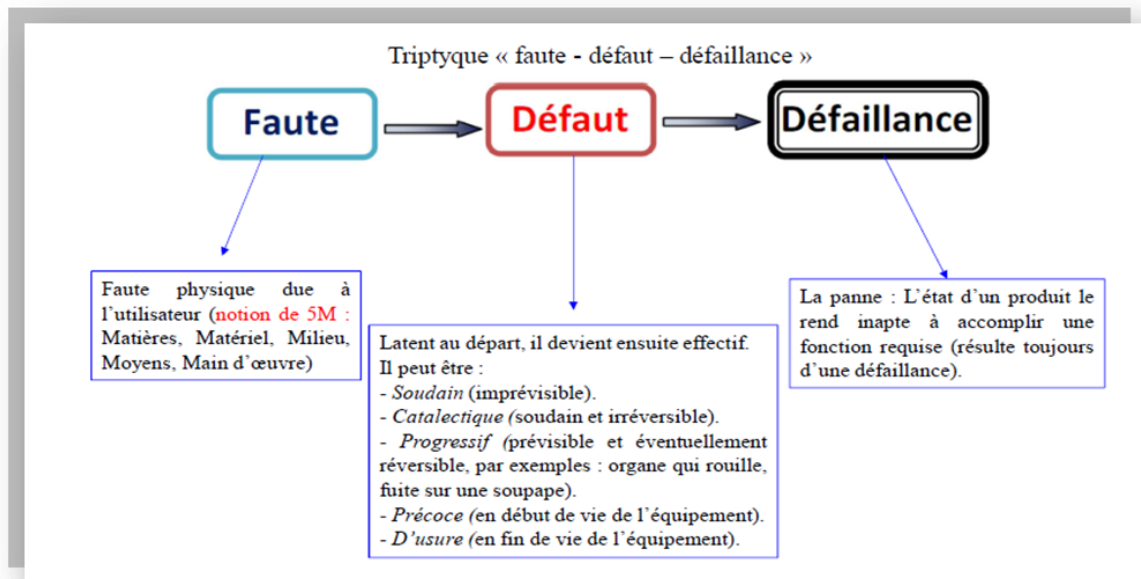


Figure II 12 : les étapes de la maintenance [22]

### b- Définition de la maintenance selon l'AFNOR par la norme NF X 60-010 :

Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ces opérations au coût optimal.

- **Maintenir** : contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.
- **Rétablir** : contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.
- **État spécifié ou service déterminé** : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.

Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité.

- **Entretien** : c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production.  
Entretien c'est subir le matériel.
- **Maintenir** : c'est choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global  
Maintenir, c'est maîtriser. [22]

**c- Définitions de la maintenance selon l'afnor par la norme NF EN 13306 X 60- 319 :**

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

**2.2 Les objectifs de la maintenance :**

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est de garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué. Pour atteindre ces objectifs, la politique de maintenance des équipements dans l'industrie nous oblige à suivre les points suivants : Le service maintenance intervient principalement pour :

- dépanner en urgence.
- réparer en atelier.
- effectuer l'entretien quotidien des matériels.

Le service maintenance est là pour éviter les pannes et les ralentissements de production : Les interventions en urgence engendrant de coûteux arrêts de production,

On met en place des procédures de prévention systématiques pour les pannes majeures.

Le service maintenance doit générer des profits : L'entreprise grâce à un bon service de maintenance assure un bénéfice remarquable, mais cela ne l'empêche pas de faire sortir des dépenses tel que : Salaires des agents, matériels de maintenance, stock de pièces de rechange, arrêt de production pour la maintenance préventive Le service maintenance est en concurrence avec les sous-traitants maintenances : Après avoir fait la preuve de sa rentabilité, le service maintenance doit faire preuve de plus de rentabilité que si on avait recours à des sociétés spécialisées dans la maintenance.

**La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées :**

• **Prévisions à long terme** : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

• **Prévisions à moyen terme** : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction du plan d'action La qualité de service doit prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.

• **Prévisions à court terme** : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la continuité de service, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation.

### 2.3 Les différents types de maintenance :

Il existe différents types de maintenance (figure II.2)

- ✓ 1° La maintenance selon la nature du bien concerné.
- ✓ 2° La maintenance déterminée en fonction de son résultat.
- ✓ 3° La maintenance déterminée en fonction des moyens techniques d'intervention.
- ✓ 4° La maintenance déterminée en fonction de sa finalité. [27]

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif.

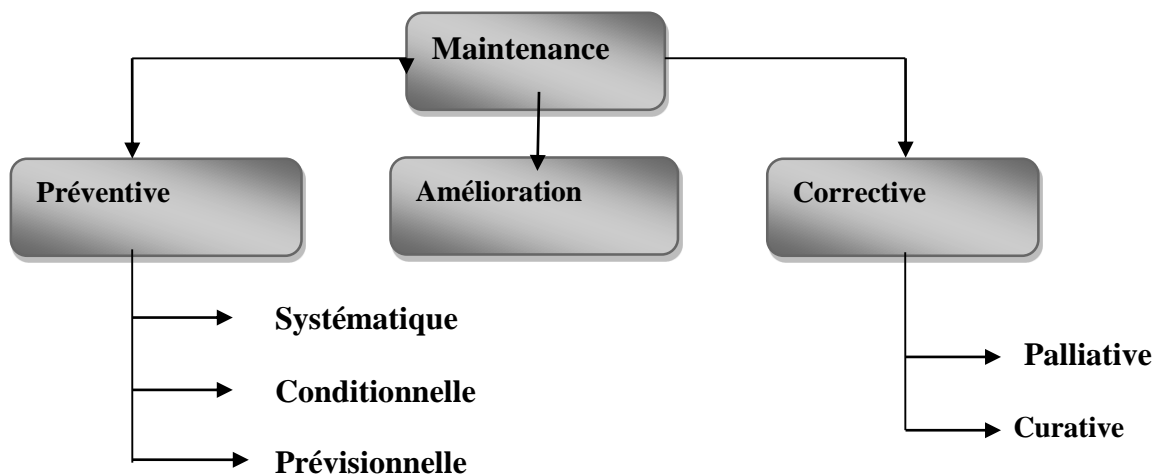


Figure II 13: Types de Maintenance

**2.4 La Maintenance préventive :** Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation, elle se compose les opérations suivantes

#### a- Buts de la maintenance préventive :

- ✓ Augmenter la durée de vie des matériels
- ✓ Diminuer la probabilité des défaillances en service
- ✓ Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne
- ✓ revenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective
- ✓ Permettre d'effectuer la maintenance corrective dans de bonnes conditions
- ✓ Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, de pièces détachées, etc. Améliorer les conditions de travail du personnel de service

- ✓ Diminuer le budget de maintenance
- ✓ Eliminer les causes d'accidents graves

**b- Les types de maintenance préventive :**

La maintenance préventive se subdivise en trois types :

- **La maintenance conditionnelle :** D'après la norme AFNOR X 60-100, la maintenance conditionnelle se définit comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure), révélateur de l'état de dégradation du bien, Ce type de maintenance comprend toutes les taches de restauration de matériels ou de composants non défailants, entreprise en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle, Elle est liée à la surveillance et au diagnostic du système et n'entraîne l'action de réparation que si une panne (présente ou future) est détectée.
- **Maintenance systématique :** D'après la norme AFNOR X 60-100, la maintenance systématique se définit comme «une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien» ,Ce type de maintenance comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer, en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défailants, lorsque ces taches sont décidées en fonction du temps ou du service, sans considération de l'état des matériels à cet instant.

La maintenance systématique a été la première à s'imposer, parce qu'elle ne demande pas de moyen d'analyse. Elle se traduit par des arrêts réguliers de la machine, avec démontage, contrôle et remplacement systématique d'organes. La date de l'arrêt est planifiée par l'expérience ou en fonction d'impératifs de sécurité.

- **Maintenance prévisionnelle :**

Parfois appelée « maintenance prédictive», la maintenance prévisionnelle est, selon l'afnor, « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Elle est basée sur neuf généralités sur la maintenance l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l'état du bien et de déceler les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée.



## **2.5 La maintenance corrective :**

La maintenance corrective, encore appelée "fonctionnement jusqu'à la rupture" ou "arrêt sur panne", est une méthode de maintenance qui demande peu d'engagement. C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance ou dégradation d'un élément actif.

La norme NF EN 13306) définit ainsi la maintenance corrective : « Exécutée après détection d'une panne est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise».

Dans le contexte actuel, cette approche se révèle souvent la plus chère et la plus dangereuse. En théorie, elle ne devrait plus exister, même pour des industries qui possèdent de nombreuses machines peu coûteuses, et qui peuvent les doubler systématiquement. Elle est effectuée en cas de panne du système.

### **a- La maintenance palliative :**

« Activité de maintenance corrective destinées à permettre de bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curative ».

### **b- La maintenance curative :**

C'est une activité ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

La maintenance optimale est donc un mélange harmonieux d'entretien préventif systématique et d'entretien correctif.

**c- La maintenance d'amélioration :** L'amélioration des biens d'équipements consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel.

## **2.6 Les logiciels de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO)**

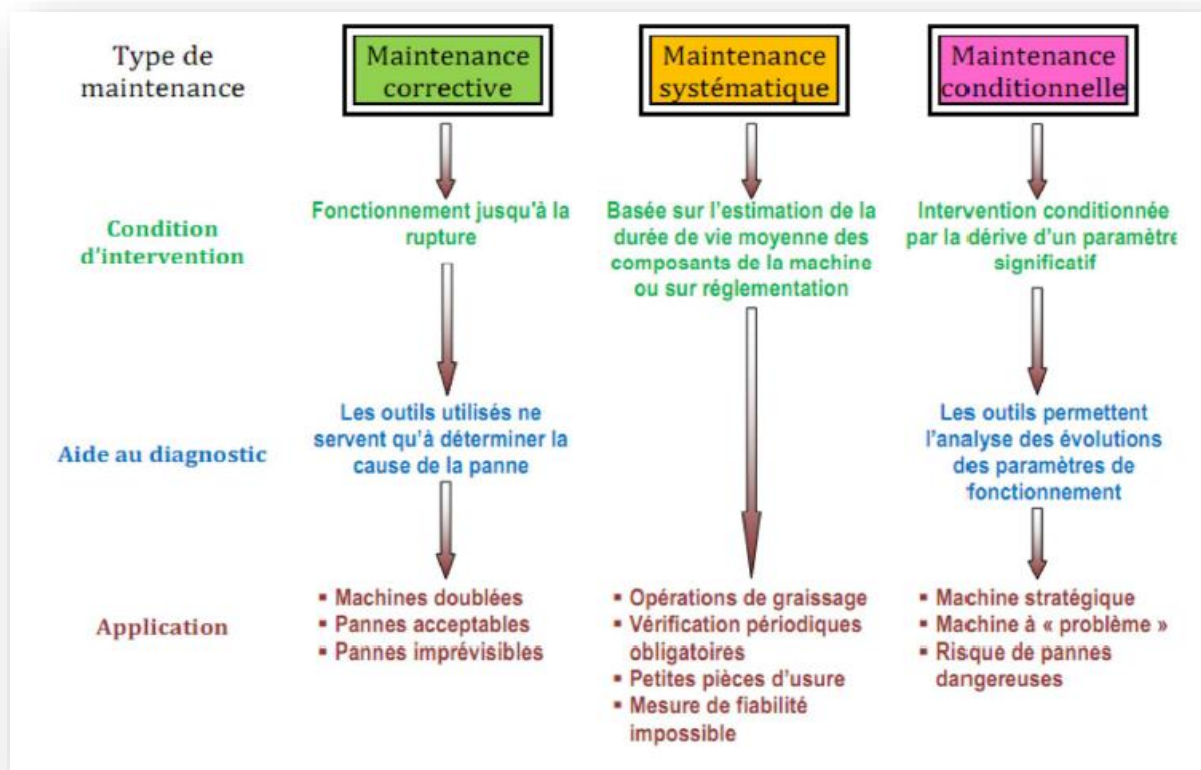
Les **GMAO** gèrent les opérations de maintenance et leur historique, le budget qui y est consacré, le planning et la préparation des interventions, la gestion du stock des pièces de rechange susceptibles de remplacer les pièces défectueuses, les fiches d'intervention et de suivi des machines, les modes opératoires... Ils définissent également l'aide au diagnostic,

analysent les causes des pannes et des défaillances antérieurement décelées, et déterminent leurs risques de survenance afin de s'en prémunir.

À côté du **GMAO**, un logiciel dit de système expert pourra intervenir. Son rôle est d'aider un technicien durant une intervention de maintenance. Il offre un diagnostic rapide, une réparation aisée, et se fonde sur une base de données répertoriant les causes, les effets et les moyens de réparation. Mais, cette base ne recense pas toutes les défaillances existantes et nécessitera d'être continuellement enrichie : ce qui s'avérera très lourd au final.

### c- Application des méthodes de maintenance

On résume les exemples d'application de la maintenance dans la figure 2.3 ci-dessous :



**FigureII 14** Application des méthodes de maintenance [22]

### III. Maintenance dans les réseaux électriques [23]

La maintenance des postes et des lignes électriques est une activité clé pour le bon fonctionnement et la gestion d'un réseau de transport.

Qu'il s'agisse de travaux de maintenance conventionnelle ou de travaux sous tension ou héliportés

Le remplacement d'un transformateur peut prendre plusieurs semaines et représente des pertes financières et de productivité considérables. C'est pourquoi la maintenance préserve l'activité, en conservant et en protégeant les machines qui y participent.

Les recommandations émises suite aux inspections fréquentes et aux tests périodiques vous alerteront des problèmes imminents. Ces inspections nécessiteront une analyse minutieuse afin d'arriver à identifier les tendances significatives ou comportement anormal. [24]

#### **IV. Choix de politique de maintenance d'un système :**

Tous les équipements d'un réseau électrique sont soumis à des mécanismes de dégradation dûs aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement tels que les usures, fatigue, vieillissement, détériorations physico-chimiques diverses.

Une politique de maintenance permet de couvrir en même temps les différents aspects qui sont :

- accroître la disponibilité des équipements.
- réduire les coûts de maintenance.
- augmenter la productivité du personnel de maintenance.
- réduire les stocks liés à la maintenance.
- améliorer l'efficacité de l'ordonnancement.
- définir une politique d'approvisionnement.
- définir les conditions de renouvellement ou d'investissement.
- définir une politique de recours à des entreprises extérieures.
- choisir la méthode de maintenance la mieux adaptée à un système donné.

#### **Développement des NTIC**

Le développement de nouvelles technologies de l'information et des communications (NTIC), l'extension d'Internet dans l'entreprise, l'intégration des applications, l'émergence de nouvelles politiques de maintenance (RCM, RCAM, TPM, MCO, etc.) indiquent une nouvelle période pour l'informatisation de la maintenance, celle que certains appellent la « maintenance intelligente ».

Dans ce cadre, nous avons voulu appliquer une méthode intelligente innovante, qui est la PHM sur le système étudié qui est le Micro grid.

Dans le chapitre suivant, nous allons définir la méthode PHM, et essayer de l'appliquer sur un élément clé du Micro grid qui est l'éolienne.

## **V. Conclusion**

La miniaturisation des systèmes est devenue un défi dans de nombreux secteurs industriels.

En effet, elle permet la réduction de l'espace occupé, du poids, des prix et de la consommation d'énergie et de matière. Dans l'automobile, l'aérospatiale, le médical, la télécommunication et même les applications militaires, les systèmes et équipements intègrent de plus en plus de fonctions dans un volume de plus en plus réduit.

# CHAPITRE 3

## **I. Concepts de base sur l'exploitation et la maintenance du micro grids :**

La base de connaissances sur l'exploitation et la maintenance des micro-réseaux intelligents contient le traitement des défauts des micro-réseaux, les connaissances sur la maintenance des équipements et des systèmes.

Elle est basée sur les règles d'expérience des experts en micro-réseaux et du personnel d'exploitation et de maintenance de première ligne.

La mission du personnel d'exploitation et la maintenance de première ligne est D'analyser les données d'exploitation des micro-réseaux afin d'extraire les données relatives aux défaillances de ces systèmes.

Il répertorie les phénomènes de défaillance des micro-réseaux et étudie les méthodes d'isolation et de récupération des défaillances correspondantes.

Il établit des statistiques sur le nombre de défaillances des systèmes et des équipements du micro-réseau, le taux de défaillance.

La base de connaissances, par le biais d'une gestion complète et organisée des connaissances, permet de former un ensemble de faits, de règles d'association.

Il s'agit de la base théorique de l'exploitation et de la maintenance des équipements, et c'est également une base importante pour la prise de décision intelligente [31]

## **II. Définition de la méthode PHM (Pronostic Health Maintenance)**

La PHM est une nouvelle approche d'ingénierie qui permet une évaluation en temps réel de la santé d'un système dans ses conditions de fonctionnement réelles, ainsi que la prédiction de son état futur à partir d'informations de détection (données sur le comportement du système), la physique des défaillances, l'apprentissage automatique, les statistiques modernes et l'ingénierie de la fiabilité.

Avec le développement rapide de la technologie, les systèmes modernes deviennent de plus en plus complexes tout en ayant la contrainte prioritaire d'une plus grande fiabilité, ce qui se traduit par une maintenance coûteuse.[32]

Afin de réduire ce coût, la méthode PHM s'avère une bonne solution.

## **III. Les algorithmes utilisés dans la PHM :**

La PHM s'appuie sur différents algorithmes pour faciliter son utilisation, le but principal du pronostic étant de prédire les dommages/dégradations futures et la durée de vie utile restante (RUL) des systèmes en service sur la base des données de dommages mesurées.

### **III.1 Approches basées sur le modèle physique :**

Elles supposent qu'un modèle physique décrivant le comportement de dégradation est disponible et combiner le modèle physique avec des données et conditions d'utilisation pour identifier les paramètres du modèle, et prédire son comportement futur. Étant donné que cette approche doit maîtriser la base physique de la défaillance dans le modèle qui relie les forces qui causent des dommages à leur effet, il faut une analyse détaillée compréhension du problème.

Le principal inconvénient de cette approche, est que si un phénomène physique important est manqué, cela peut conduire à l'échec de la prédiction, et le comportement de dégradation. Aussi, les modèles haute-fidélités, notamment pour les modèles numériques, peuvent consommer beaucoup de temps en calcul.

### **III.2 Approches basées sur le modèle de gestion des données (statistiques et utilisant l'intelligence artificielle)**

Les approches axées sur les données utilisent les informations provenant des données collectées à des conditions d'utilisation antérieures (appelées données d'entraînement) pour identifier les caractéristiques du l'état de dégradation actuellement mesuré et de prédire la tendance future.

Le principe de la compréhension des approches basées sur les données est une extrapolation avec une fonction basée sur des coefficients identifiés.

En collectant suffisamment de données, il est possible d'identifier des relations qui n'avaient pas été pris en compte auparavant.

De plus, étant donné que la méthode fonctionne avec un objectif donné, il peut considérer toutes les relations. Cependant, cette méthode nécessite beaucoup de données qui incluent tous les modes de défaillance possibles pour le même système ou des systèmes similaires.

### **III. Approches hybrides :**

Elle combine les deux précédentes approches. Les approches hybrides doivent intégrer les avantages à la fois de la physique et les méthodes basées sur les données pour améliorer la capacité de prédiction. Pour les systèmes complexes, il pourrait ne pas être efficace d'utiliser des approches basées sur la physique ou axées sur les données seule. Au lieu de cela, les deux approches sont utilisées ensemble pour maximiser la prédiction aptitude.

Par exemple, les connaissances sur le comportement physique peuvent être utilisées pour déterminer le modèle mathématique (par exemple, déterminer l'ordre du polynôme ou fonctions exponentielles) dans la méthode basée sur les données.

Il est également possible d'utiliser les données du modèle du système en conjonction avec un modèle de défaillance basé sur la physique, ou vice versa.

#### **IV. Les avantages de la PHM :**

a) **Coûts d'exploitation réduits** : Par ce que les coûts de maintenance des systèmes complexe peuvent être extrêmement importants, en particulier pour une flotte de systèmes, le coût peut être réduit en utilisant la PHM.

Plus précisément, la PHM permet de réaliser des économies de deux manières :

- ❖ La première passe par les pratiques de CBM et la seconde par une méthode plus automatisée basée sur le système d'assistance à la maintenance et à la logistique.
- ❖ La seconde passe par l'automatisation du système de maintenance et de logistique, qui permettra une maintenance plus juste en temps réel.

b) **Augmentation des revenus** : Bien que cela ne soit pas direct, le MPS peut aussi aider à augmenter les revenus d'une entreprise. Être en mesure de gagner une plus grande part de marché et donc d'augmenter les revenus.[33]

#### **V. La maintenance des éléments constituant un micro réseau :**

Comme on l'a défini au premier chapitre, un micro réseau est un ensemble de sous-systèmes (panneaux solaires, convertisseurs, éolienne, batteries...) reliés entre eux.

On peut considérer une maintenance globale du système, ou faire la maintenance de chaque sous -système .

Nous allons dans ce qui suit appliquer la deuxième option. Et pour cela nous allons étudier la maintenance de l'éolienne.

La maintenance peut être curative ou préventive. Elle concerne tous les éléments de l'éolienne.

##### **a) Maintenance préventive**

La maintenance préventive consiste :



- À entretenir les différents éléments de l'éolienne avant leurs défaillances .
- Lubrification des éléments mécaniques.
- Contrôle de la génératrice et des systèmes hydrauliques.
- Diagnostic et contrôle des systèmes électroniques ;
- Contrôle des hélices et des pales ;
- Contrôle du mât ;
- Contrôle des régulateurs qui sécurisent l'éolienne ;
- A remplacer les pièces d'usure selon les prescriptions du fabricant.

### **b) Maintenance curative**

Comme son nom l'indique, elle consiste en cas de panne et après diagnostic, à réparer les éléments défaillants d'un aérogénérateur :

- Mât ou pales.
- Génératrice.
- Systèmes électroniques.

**Remarque : un bruit inhabituel doit inciter à une vérification. Dans un système en rotation, un élément cassé peut entraîner des pannes sur d'autres éléments.**

### **c) Fréquence des contrôles**

La fréquence des contrôles et de remplacement de pièces, comme dans l'automobile, est déterminée par le fabricant de l'éolienne :

- Compter en général au moins un nettoyage et graissage complet et une vérification annuelle des différents éléments : pales, générateur, multiplicateur.
- Par ailleurs, il est recommandé de procéder à des contrôles supplémentaires en cas d'évènements climatiques violents : tempêtes, orages, grêle.
- Des interventions saisonnières peuvent, en plus, être nécessaires : déneigement des pales, nettoyage d'insectes ou d'oiseaux, enlèvement du sel (éolienne off-shore ou à proximité de la mer).

## **VI. Métiers et coût de la maintenance des éoliennes**

### **I. Opérateurs**

La maintenance d'une éolienne doit être effectuée par un professionnel. Généralement, les constructeurs d'éoliennes proposent un contrat de maintenance.

Celui-ci fait appel à :

- Des gestionnaires de maintenance qui planifient les opérations ;
- Des techniciens de maintenance qui interviennent en préventif ou curatif,
- Des ingénieurs et responsables d'exploitations qui supervisent les techniciens.

**Remarque : la rapidité d'intervention est primordiale car pendant la maintenance, une éolienne ne produit pas.**

La durée de vie moyenne d'une éolienne est de 10 à 20 ans, sachant que :

- Une bonne maintenance permet une meilleure longévité ;
- Certaines pièces peuvent être changées pour augmenter la durée de vie.

### **II. Le Coût**

Coût de la maintenance dépend du type d'éolienne, les plus grandes étant généralement plus onéreuses. Ainsi, comptez :

- 2 à 3 % par an du coût d'investissement pour le coût d'exploitation et de maintenance d'une grande éolienne ;
- 1,5 à 2 % du coût d'investissement initial pour une petite éolienne.

Les coûts de maintenance sont plus importants sur les grandes installations notamment du fait :

- Des normes de sécurité (travail en hauteur par exemple) ;
- Du gros matériel nécessaire (nacelle ou grue grande hauteur par exemple).

Comme on le voit, les dépenses d'exploitation et de maintenance sont importantes au bout de 20 ans et doivent être prises en compte dans le calcul économique d'un parc éolien. [34]

## **VII. Identification des parties critiques dans les éoliennes :**

Les éoliennes sont des systèmes très complexes, certains composants sont plus sujets aux détériorations que d'autres de par leur conception, et leur fonctionnement très sollicité. Ceci induit des temps d'arrêt non programmés qui réduisent la productivité.

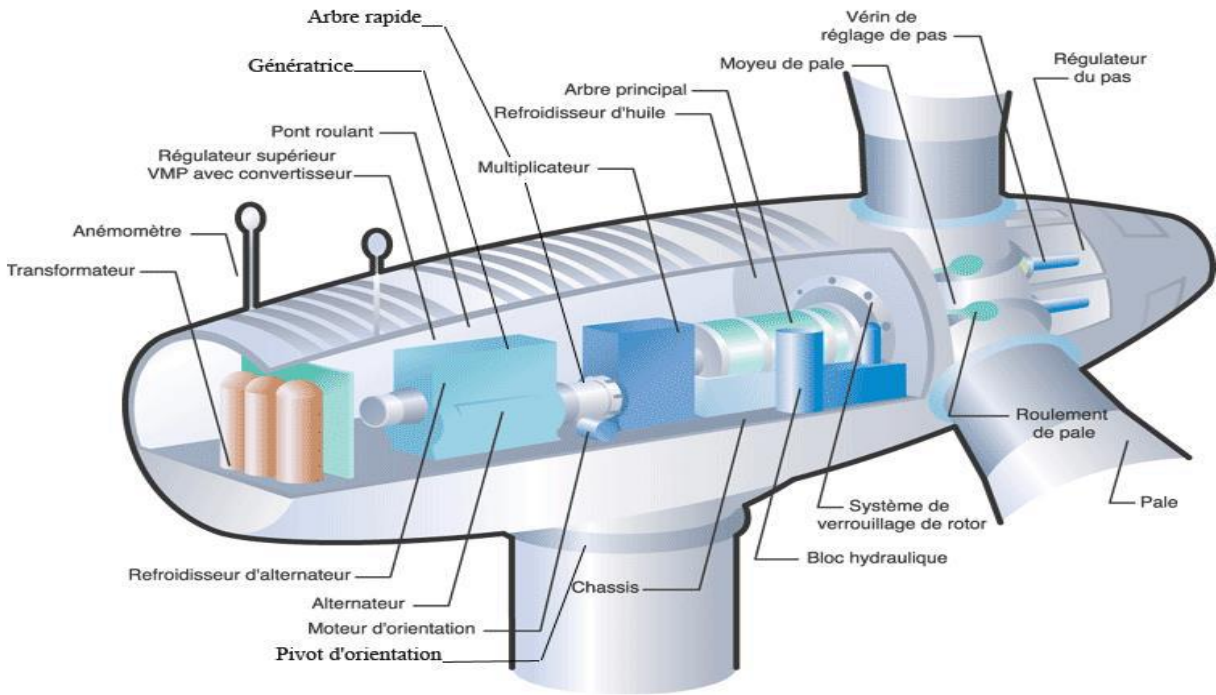
Dans un micro réseau, les capteurs installés initialement pour gérer le flux de l'énergie peuvent contribuer à l'amélioration du contrôle opérationnel des composants critiques. Ainsi, ils fournissent des informations continues concernant l'état du composant à surveiller comme , les boîtes de vitesses, générateur, paliers principaux, pales, tour.[35]

### **VII.1. La liste des composants d'une éolienne est présentée ci-dessous :**

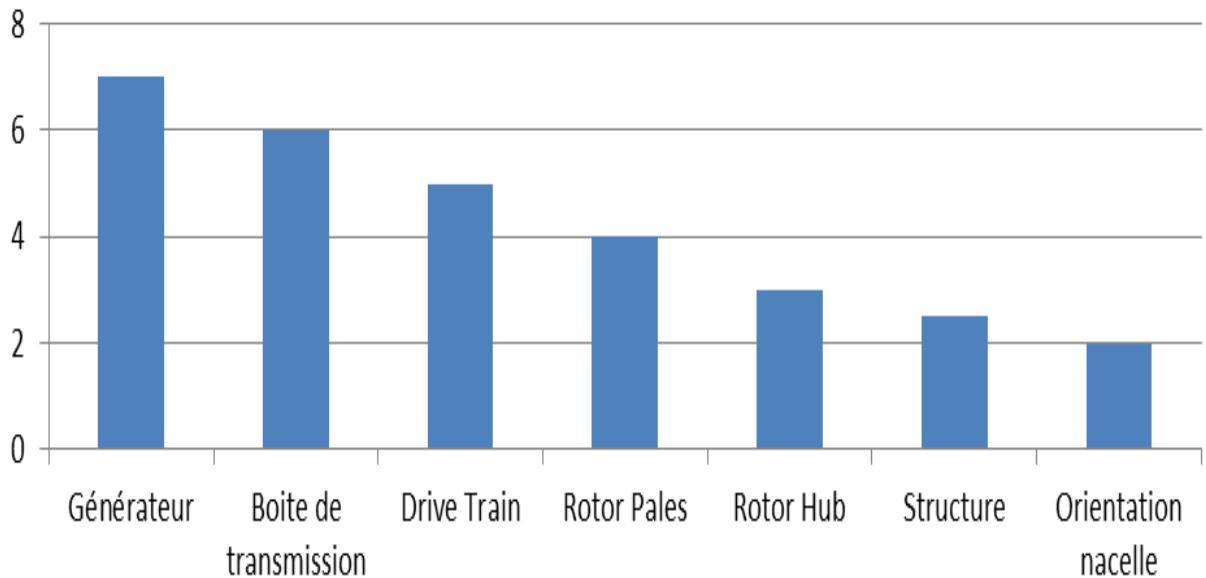
- Les pales et le système de calage
- Le frein mécanique
- La yaw drive
- Le rotor
- La nacelle
- Le tour
- Le générateur
- L'arbre à grande vitesse (HSS)
- L'arbre à faible vitesse (LSS)
- Boîtes des vitesses

Nous avons noté dans la littérature Allemande cette étude qui a été réalisée en effectuant la surveillance de 1,467 éoliennes en Allemagne majoritairement d'une puissance moyenne inférieure de 1MW et ceci durant la période de 1989 à 2004 [36].

Les analyses statistiques des données ont déterminé les éléments les plus pénalisants en fonction du temps d'arrêt :



**Figure.III. 15** Composition de la nacelle d'une éolienne



**Figure.III. 16** Temps d'arrêt des composants d'éoliennes en Allemagne

## **VII.2. Utilisation de la méthode PIEU pour déterminer les éléments critiques :**

La méthode PIEU fait l'état de quatre références à vérifier pour chaque composant :

### **a/ Premier indice : indice des pannes P**

On peut en déduire donc les conséquences techniques et économiques sur l'environnement et la sécurité des personnes et de leurs biens.

En d'autres termes obtenir une prévision en cas d'apparition d'une panne.

### **b /Deuxième indice : importance de l'équipement I**

Cet indice caractérise l'influence que peut avoir une certaine panne sur la production d'une entreprise ou d'un système donné

### **c/ Troisième indice : État de l'équipement E**

En effet, le critère E est lié à l'âge du matériel, sa précision, son usure, son implantation (ambiance poussiéreuse, abrité ou non, ...). Il peut se déterminer globalement d'après l'aspect général, l'état des organes de travail, le niveau de "vétusté" et d'obsolescence des équipements de contrôle et commande électrique

### **d/ Quatrième facteur : taux d'utilisation U**

Indique la proportion du temps d'engagement de l'équipement sur le temps total disponible (temps d'ouverture).

Pour nous permettre de calculer le poids et la criticité de chaque composant, on calcule le coefficient suivant :

$$C_r = P * I * E * U$$

Table 1 : Grille d'évolution de la criticité [33]

INDICE/ POIDS	0.1	1	2	3
<b>P</b>	Arrêt de plusieurs jours la production éolienne	Arrêt de plusieurs heures la production éolienne	Possibilité de produire l'électricité en mode dégradé	Pas de répercussions sur la production
<b>I</b>	Stratégique : pas de composant redondant mais possibilité d'un fonctionnement en mode dégrade	Primaire : pas de redondance mais possibilité d'un fonctionnement en mode dégrade	Secondaire : redondance avec capacité limité	De secours redondance totale
<b>E</b>	A remettre au rebut	A remettre en état à cout élève	A remettre en état à faible cout	Quasi neuf
<b>U</b>	Saturé (utilisation >98.5%)	Fort (<90% < utilisation 98.5%)	Moyen (70% < utilisation < 90%)	Faible (utilisation < 70%)

On obtient ensuite 3 catégories :

**Catégorie A** : ( $0 < CR < 1$ ) les équipements sont jugés très critiques.

**Catégorie B** : ( $1 \leq CR \leq 10$ ) les équipements sont jugés critiques.

**Catégorie C** : ( $10 \leq CR \leq 256$ ) les équipements sont jugés non critiques.

D'après les données disponibles, les deux éléments de la nacelle qui ont un  $C_r$  entre 0 et 1 sont le générateur et la boîte de transmission (les roulements)

Sur cette base, nous allons donc essayer de présenter l'application de la méthode PHM pour établir un pronostic sur les roulements.

### VII.3. Le système de contrôle et d'acquisition des données SCADA

Pour assurer la télégestion des fermes éoliennes indépendantes on peut utiliser un système SCADA qui permet à l'opérateur de déterminer quels ajustements sont nécessaires ou quelles actions correctives doivent être prises.

Le système de contrôle et l'acquisition de données (SCADA) et également le principal système utilisé en Algérie.

Ils surveillent la performance et le rendement de chaque installation et gardent un œil sur les orages à proximité pour avertir les techniciens d'un éventuel danger sur les sites.

Chaque turbine éolienne dispose d'un boîtier de contrôle contenant un automate programmable, un convertisseur de puissance, des cartes de commande, des capteurs de vitesse et de direction du vent, de vitesse de rotation d'axe, et de nombreux autres paramètres, collectent les données à base fréquence et les transmettent à l'automate programmable. En détectant la direction du vent, le système de contrôle est capable de commander le système d'orientation permettant d'aiguiller toute la turbine dans la direction optimum pour une production d'électricité maximum [38].

## **IX. Surveillance des roulements**

Un roulement est un élément mécanique qui supporte la charge et permet un mouvement relatif entre deux parties, tels que l'arbre et le boîtier, avec un minimum de frottement. Ils sont les composants les plus communs que l'on trouve dans les machines de rotation et jouent un rôle important dans le bon fonctionnement de ces machines.

La présence de défauts dans les roulements entraîne de fortes vibrations des machines tournantes. La détection rapide de ces défauts et l'estimation de la durée de vie résiduelle sont les sujets de préoccupation pour les chercheurs parce que les défaillances brutales des roulements peuvent causer un mauvais fonctionnement de l'ensemble du système, ou un arrêt, ce qui se traduit par une perte économique.

### **1/ Vibration des roulements**

Une bonne conception au niveau pratique, produit de faibles niveaux vibratoires au niveau d'une machine tournante. Par contre, au cours du temps, la machine devient de plus en plus vieille, ses principales fondations travaillent encore plus, ses pièces commencent à se déformer et deviennent de plus en plus usées, ce qui entraîne aussi un changement au niveau des propriétés mécaniques : Les arbres se désalignent, les paliers s'usent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent.

Ces facteurs développent donc une hausse de l'énergie vibratoire excitant ainsi les résonances et ajoutant une charge dynamique considérable aux différents paliers. Lors de cette campagne de mesure des vibrations on enregistre les informations recueillies qui sont porteuses des principales caractéristiques des composants mécaniques de la machine analysée. Grâce à cette analyse, il est possible donc de détecter et localiser les principaux éléments défectueux. Quand un certain seuil de vibration limite est atteint, on peut estimer la durée de

vie du composant ainsi que les conditions de son fonctionnement à partir de la loi d'endommagement.

## 2. Capteurs de vibrations

Pour étudier les vibrations sur une éolienne, des accéléromètres sont installés sur différents endroits de la chaîne cinématique.

Les accéléromètres piézoélectriques convertissent une forme d'énergie en une autre et fournissent un signal électrique [39].

En utilisant la méthode de détection générale sur laquelle tous les accéléromètres sont basés, l'accélération agit sur une masse sismique qui est retenue par un ressort ou suspendue sur un faisceau en porte-à-faux et convertit une force physique en un signal électrique. Avant que l'accélération puisse être convertie en une quantité électrique, elle doit d'abord être convertie en force ou en déplacement.

Cette conversion se fait via le système masse ressort. La façon avec laquelle le capteur est fixé sur la structure peut influencer la qualité du signal recueilli, Il peut être soit vissé à la même structure, soit vissé sur une embase collée, magnétique pour les structures ferriques, ou accolé avec une pointe touche. Cette fixation joue un rôle vital sur le résultat des mesures recueillis, et la largeur de bande peut s'en trouver affectée.

## 3. Chaîne d'acquisition de données lors de la surveillance d'un roulement.

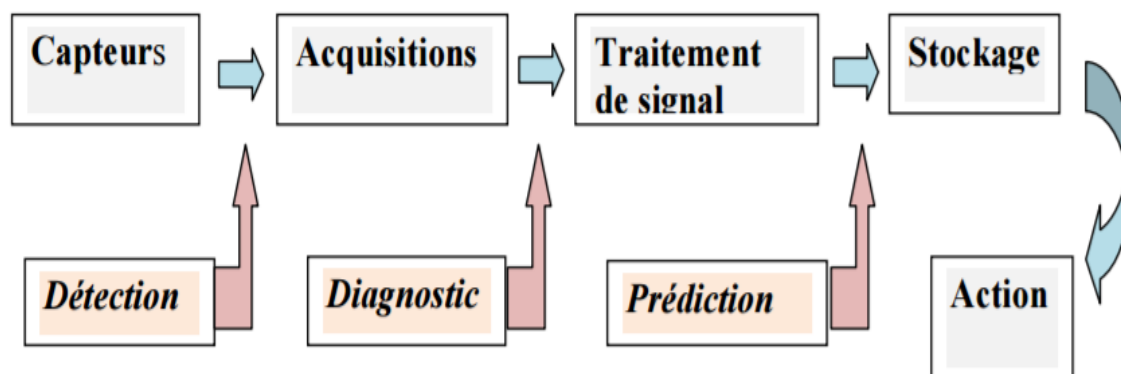


Figure.III. 17 Chaîne et matériel d'acquisition



## **X. Application de la PHM avec le modèle a base de réseaux de neurones :**

### **1. Définition des Réseaux de Neurones Artificiels**

Un réseau de neurones artificiels ou Artificial Neural Network est un système de technologie de l'information basé sur le fonctionnement du cerveau humain, dont sont équipés les ordinateurs dotés de fonctions d'intelligence artificielle.

Les réseaux de neurones artificiels permettent aux ordinateurs de **résoudre des problèmes de façon autonome et renforcent leurs capacités** d'une manière générale. Certains nécessitent une supervision initiale, en fonction de la méthode d'intelligence artificielle utilisée.

### **2. Fonctionnement d'un réseau de neurones artificiel**

La conception des réseaux de neurones artificiels s'appuie sur la structure des neurones biologiques du cerveau humain.

Les réseaux de neurones artificiels peuvent être décrits comme des systèmes composés d'au moins deux couches de neurones une couche d'entrée et une couche de sortie et comprenant généralement des couches intermédiaires (« *hidden layers* »).

Plus le problème à résoudre est complexe, plus le réseau de neurones artificiels doit comporter de couches. Chaque couche contient un grand nombre de neurones artificiels spécialisés.

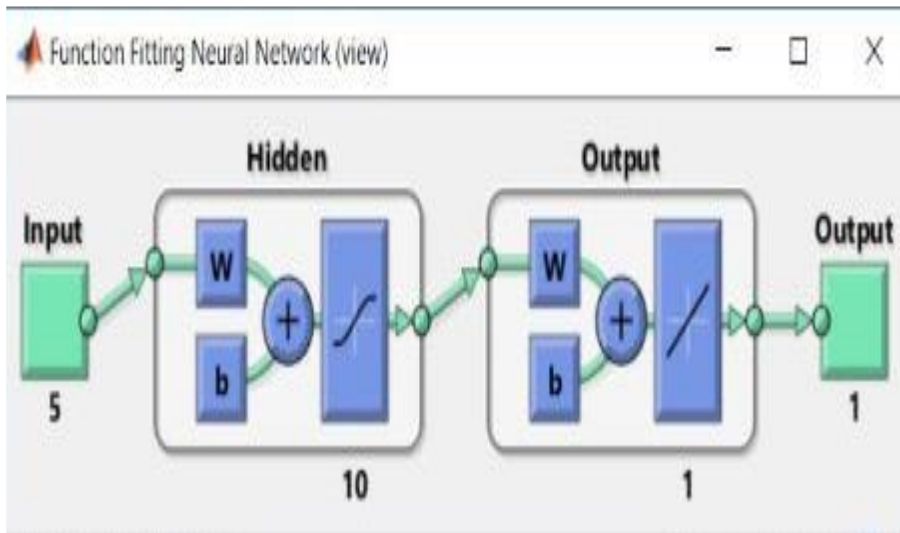
### **3. Applications :**

Les réseaux de neurones servent aujourd'hui à toutes sortes d'applications dans divers domaines. Par exemple, un autopilote pour avion a été développé, ou encore un système de guidage pour automobile, des systèmes de lecture automatique de chèques bancaires et d'adresses postales ont été conçus, des systèmes de traitement du signal pour différentes applications militaires ainsi que des systèmes pour la synthèse de la parole sont produits, des réseaux sont aussi utilisés pour bâtir des systèmes de vision par ordinateur, pour faire des prévisions sur les marchés monétaires, pour évaluer le risque financier ou en assurance, pour différents processus manufacturiers, pour le diagnostic médical, pour l'exploration pétrolière ou gazière, en robotique, en télécommunication, ...etc.

Les différents défauts qu'on peut voir sur les roulements se manifestent par l'apparition de chocs périodiques à des fréquences spécifiques. Pour réaliser un pronostic

efficace à partir d'un certain spectre, on peut donc utiliser un certain nombre de fréquences caractéristiques ou fréquences de défauts qui sont les suivantes [40]:

Le modèle développé est un modèle de réseau de neurones Levenberg-Marquardt avec une couche d'entrée, une couche de sortie avec un neurone de sortie et une seule couche cachée

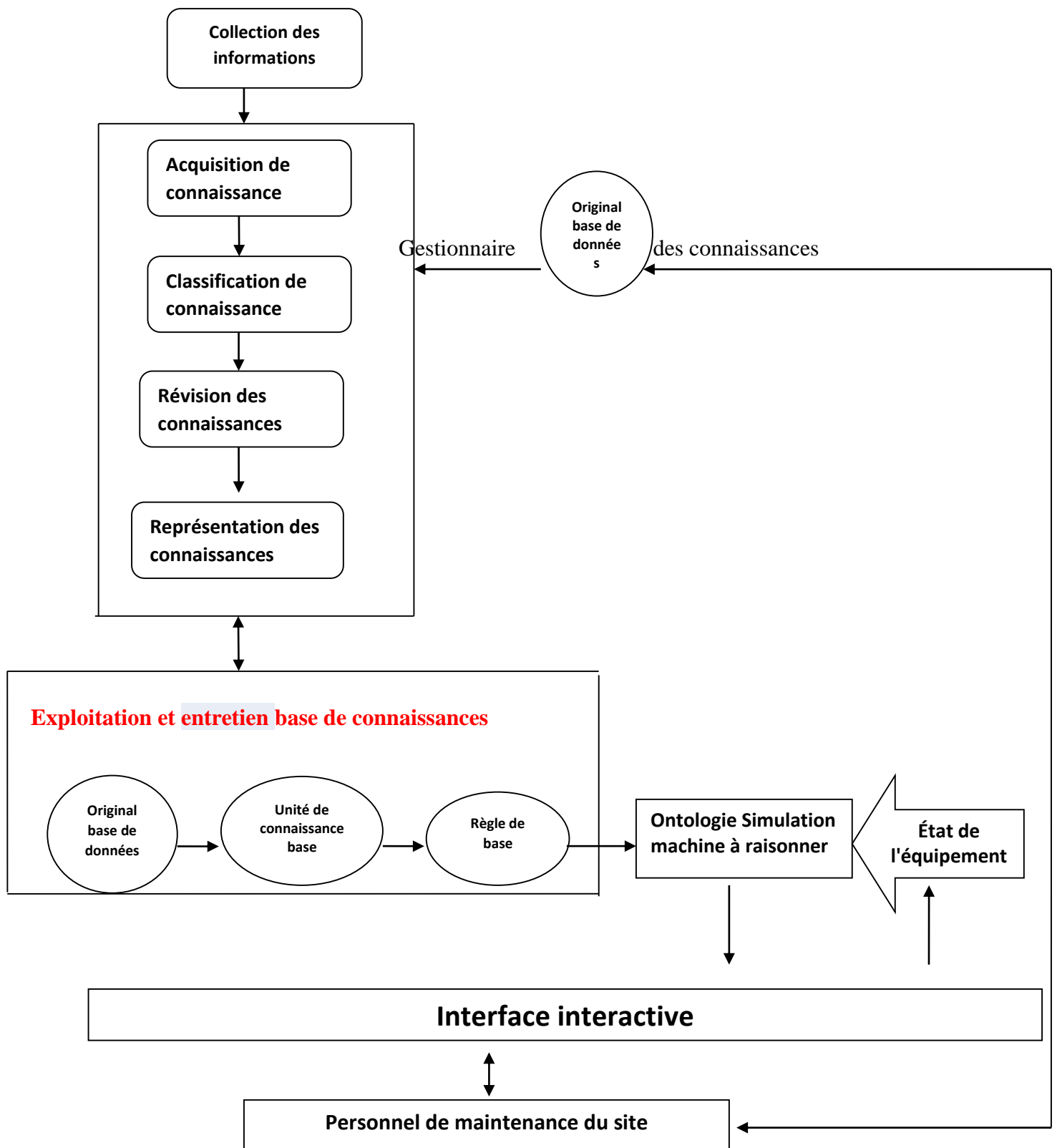


**Figure.III. 18** La structure du modèle développé

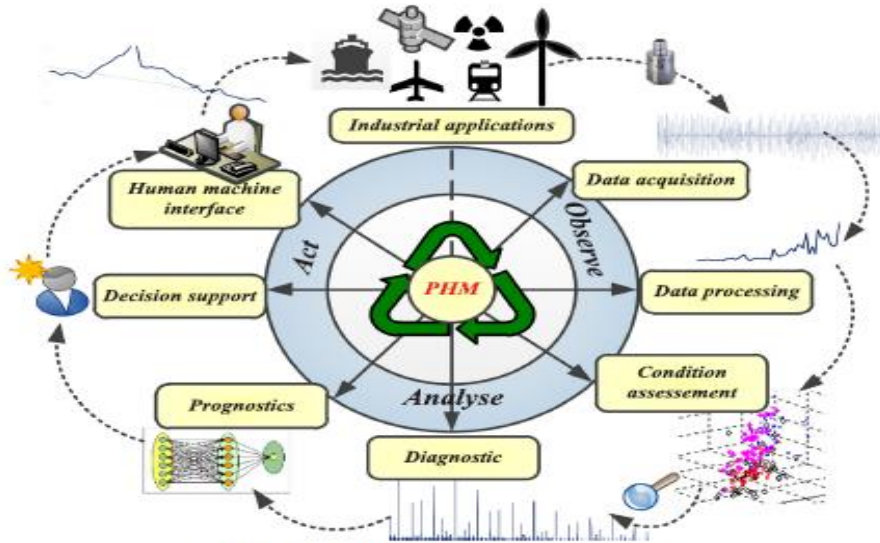
INPUTS : les données de surveillance ou les indicateurs de condition et l'âge

OUTPUTS : pourcentage de vie du roulement :  $p = (1-HI(t))*100$

Le diagramme de la structure du système de base de connaissances sur l'exploitation et la maintenance est présenté dans la figure suivante.



**Figure.III. 19** Schéma de la structure du système de base de connaissances sur l'exploitation et la maintenance [41]

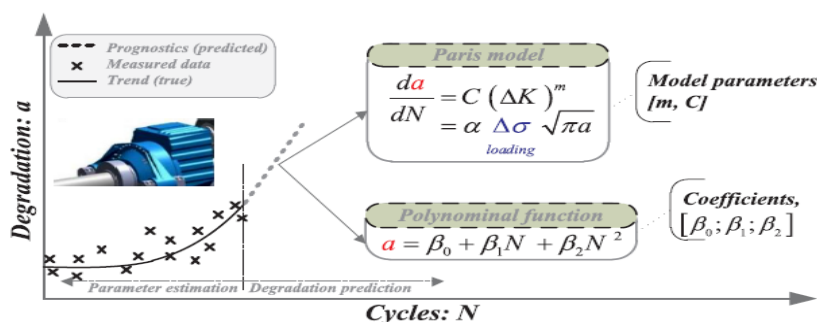


**Figure.III. 20** le cycle de la PHM

Un exemple de modèle de dégradation couramment utilisé pour les pronostics est montré dans la Fig. ci-dessous. Ceci utilise un modèle de la loi de Paris [42] et une fonction polynomiale comme approche axée sur les données.

Bien que les informations données soient différentes les unes des autres, la procédure du pronostic est presque la même : identifier les paramètres en fonction de données endommagées et prédire les dommages futurs en substituant les données identifiées des paramètres à chaque modèle de dégradation physique ou fonction mathématique.

L'augmentation des défauts dépend des paramètres du modèle ( $m, C$ ) et de l'utilisation de la Condition ( $\Delta\sigma$ ), telle que le chargement d'informations, dans le modèle de la loi de Paris. Le modèle de la loi de Paris :



**Figure.III. 21**Exemple simple de pronostics utilisant le modèle de droit des paroisses [43]

### XI. Calcul du paramètre RUL à partir du modèle de Paris :

Considérons  $\Delta\delta$ , la plage du défaut causé par la déformation, alors le taux d'évolution du défaut peut être calculé par :

$$Da/dN = c(\Delta k)^m \quad (1) \quad \text{avec } \Delta k : \text{taux d'évolution du défaut.}$$

Il s'écrit aussi :  $\Delta k = 2\sigma\alpha\sqrt{\pi a}$

$$\frac{da}{dN} = C(2\sigma\alpha\sqrt{\pi a})^m$$

Alors : (1) devient : (2)

**Avec :**

$Da/dN$  : est le taux de variation de la demi-longueur de fissure par cycle

$C$ : une constante qui dépend du matériau.

$m$  : exponentiel de l'évolution de la fissure.

$\sigma$ : la tension brute.

$\alpha$  : facteur de correction géométrique.

$a$  : est la demi-longueur de fissure, qui est proportionnelle à santé des composants.

On peut simplifier l'équation (2) en prenant :  $m=2$  ;

Alors :  $da/dN = 4C\sigma^2\pi a$ ,  $N$  : nombre de cycles

On inverse la fraction :  $dN/Da$  tel que Le but soit de déterminer le nombre de cycles,  $N$ , restant jusqu'à ce qu'une longueur de fissure " $a$ " soit atteinte.

L'intégration donne le nombre de cycles à partir de l'état actuel  $a_0$ , à l'état  $a_f$  RUL.

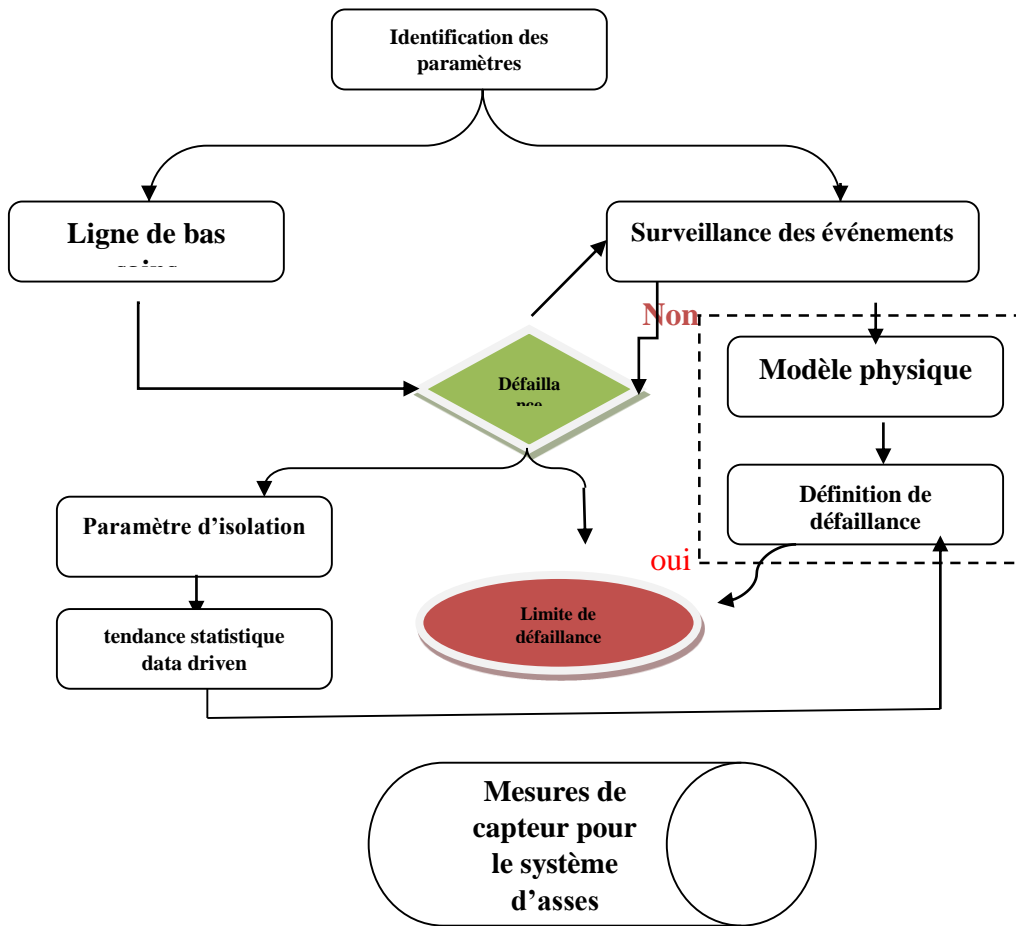
Ainsi :  $N = (4C\sigma^2\pi a)^{-1} [\ln(a_f) - \ln(a_0)]$  avec  $\ln(a_f) = \ln(1) = 0$ ,

### 1. Application :

Les données vibratoires ont été collectées grâce aux conditions de test illustré à la Figure III 3. 50 jours sont pris en compte pour l'enregistrement des données brutes.

La période était, une acquisition brute par jour à la fréquence d'échantillonnage élevée égal à 100 kHz a été faite en six seconde, ce qui offre une excellente opportunité pour tester des algorithmes pronostiques.

La figure III 3 donne la tendance brute des vibrations d'un WTG HSSB sur 50 jours se terminant par une faute de course intérieure. Les résultats ont montré une forte indication d'échec dans les mesures de 50 jours. La vitesse de l'arbre est d'environ 30 Hz; c'est-à-dire 0,13 % de variation de la vitesse de l'arbre, la variation en raison de l'effet de l'ombre de la tour et du cisaillement du vent.[43]



**Figure.III. 22** un organigramme de l’approche intégrée adoptée (modèle hybride) pour la dégradation de la hssb prévue par les modèles physiques, avec l’aide de méthodes fondées sur des données

## Application de LA PHM

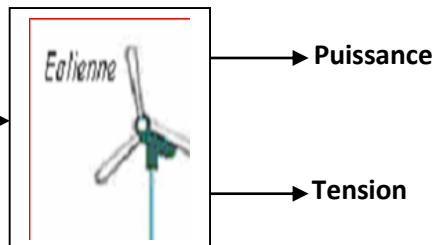
### 1/ Observation

#### Acquisition de données

#### Traitement de données

Eolienne

Vitesse de vent



**2/ Analyse** : on a reçus les résultats d’une journée pour une station énergétique utilise les éoliennes de la région Adrar Algérie

Tableau de fonctionnement d'un micro réseau d'Adrar selon les puissances des différents équipements (des données réel le 14/09/2020)

HORAIRES		PV	BATTERIE	EOLIENNE
14/09/2019 00:00	14/09/2019 01:00	1136.902	10	3195160
14/09/2019 01:00	14/09/2019 02:00	1326.834	9.427	3151078
14/09/2019 02:00	14/09/2019 03:00	1372.22	9.624	3188068
14/09/2019 03:00	14/09/2019 04:00	1305.319	9.341	3123100
14/09/2019 04:00	14/09/2019 05:00	1265.93	9.171	3109000
14/09/2019 05:00	14/09/2019 06:00	1187.717	8.873	3106011
14/09/2019 06:00	14/09/2019 07:00	1043.848	8.325	3105100
14/09/2019 07:00	14/09/2019 08:00	725.328	7.164	3105030
14/09/2019 08:00	14/09/2019 09:00	556.046	6.499	3105000
14/09/2019 09:00	14/09/2019 10:00	550.5	6.474	3005000
14/09/2019 10:00	14/09/2019 11:00	391.563	5.76	3000000
14/09/2019 11:00	14/09/2019 12:00	257.783	5.025	2700000
14/09/2019 12:00	14/09/2019 13:00	172.145	4.45	19088.8
14/09/2019 13:00	14/09/2019 14:00	181.2	4.517	19964.06
14/09/2019 14:00	14/09/2019 15:00	195.623	4.616	21305.71
14/09/2019 15:00	14/09/2019 16:00	255.492	5.016	27338.28
14/09/2019 16:00	14/09/2019 17:00	312.168	5.346	33096.75
14/09/2019 17:00	14/09/2019 18:00	361.433	5.609	38225.65
14/09/2019 18:00	14/09/2019 19:00	267.06	5.086	28498.87
14/09/2019 19:00	14/09/2019 20:00	210.939	4.728	22894.49
14/09/2019 20:00	14/09/2019 21:00	243.146	4.939	26098.5
14/09/2019 21:00	14/09/2019 22:00	370.272	5.654	39153.08
14/09/2019 22:00	14/09/2019 23:00	625.393	6.782	67572.8
14/09/2019 23:00	15/09/2019 00:00	901.12	7.816	103431.4
15/09/2019 00:00	15/09/2019 01:00	1069.725	8.421	129356.9

Les différents modules du PHM sont liés de manière complémentaire qui permet de maintenir le système en condition opérationnelle. Nous commençons en général par collecter

des données concernant l'état de santé du système. Ces données sont ensuite traitées afin d'extraire des indicateurs de santé représentant le comportement du système.

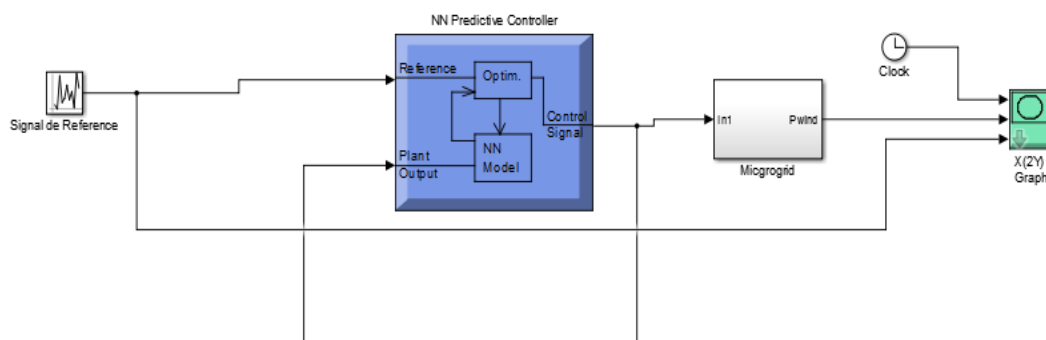
Ces indicateurs sont utilisés dans l'étape suivante pour détecter son état actuel.

La détection peut conduire soit au diagnostic pour isoler une défaillance et identifier ses causes, soit au pronostic pour anticiper l'apparition d'une défaillance.

Le traitement des résultats se fait avec l'utilisation d'une méthode intelligente ; parmi ces méthodes en va choisir les réseaux de neurones artificiels

### **3/Simulation :**

A l'aide du logiciel Simulink de MATLAB , on a utilisé les réseaux de neurones pour prédire l'état de santé des roulements à partir des données recueillis par les capteurs ;



**Figure.III. 23** : modélisation par Simulink de la commande de l'éolienne par les réseaux de neurones

#### **Etape1 :**

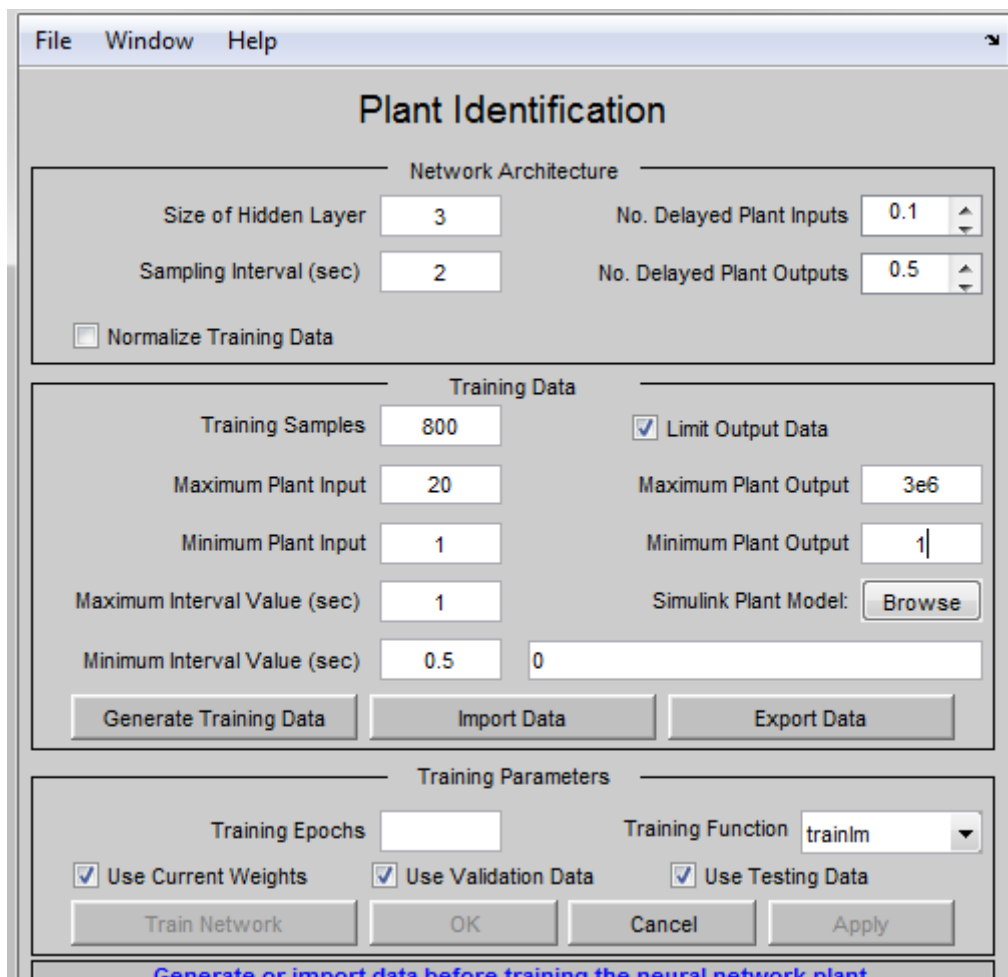
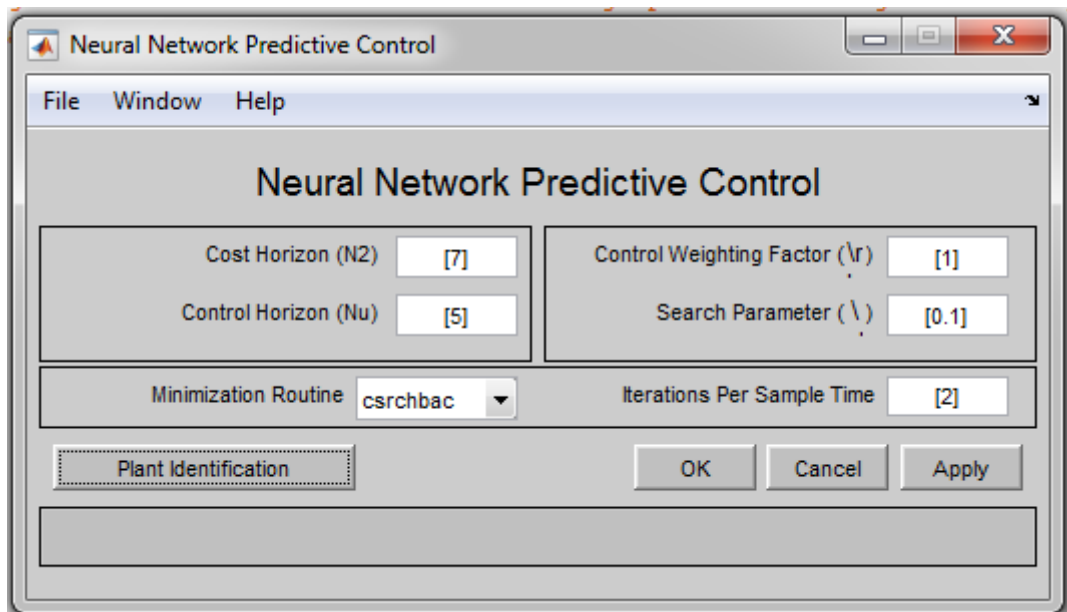
##### Apprentissage

On donne comme entrée les données recueillis sur le fonctionnement de l'éolienne pendant un an

#### **Etape2 :**

##### Identification des paramètres

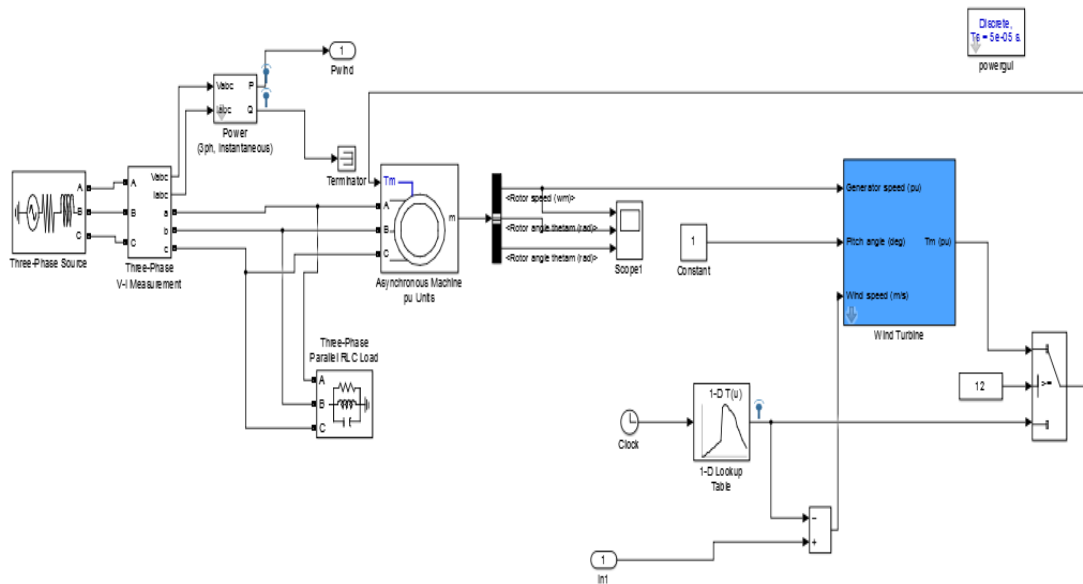




### Etape 3 :

Le modèle

on a modélisé l'éolienne suivant la figure



Après en a obtenu les résultats suivantes

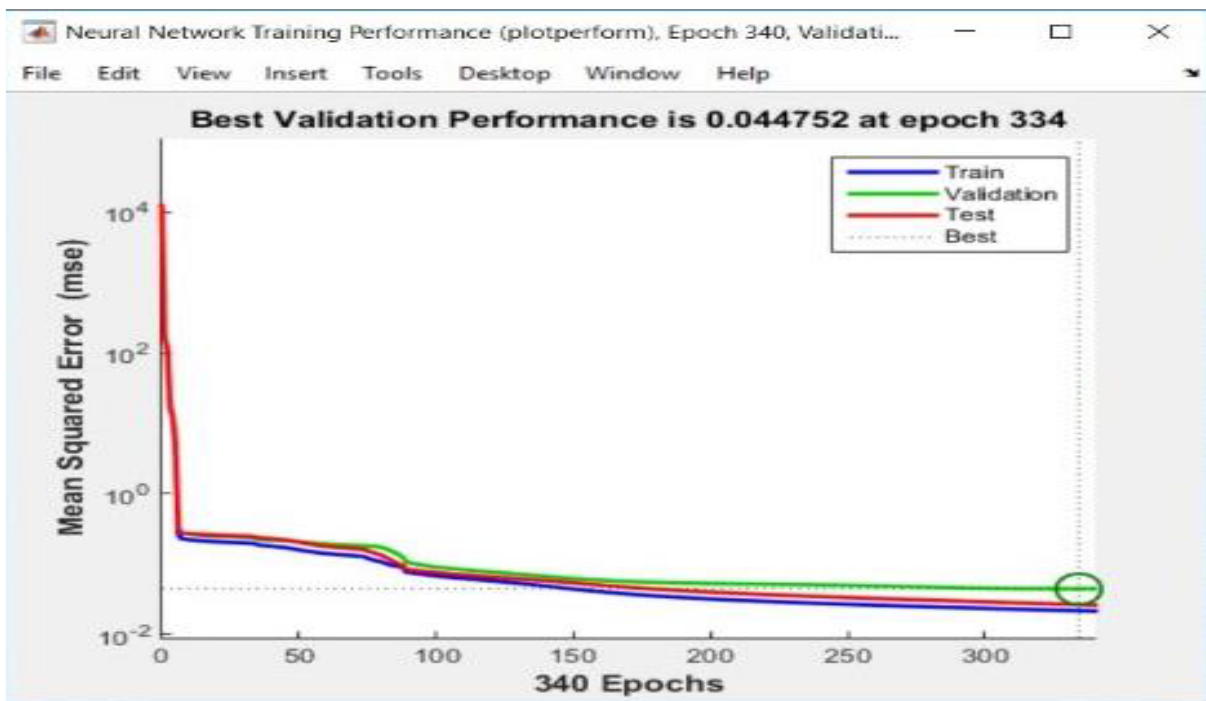


Figure.III. 24 Performances de validation

### Interprétation des courbes :

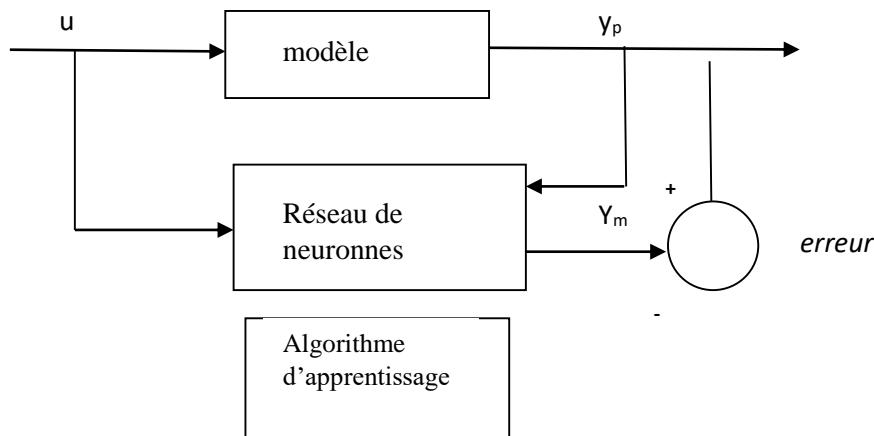
La Figure III. 25 représente la performance des réseaux de neurones ainsi développé. C'est l'erreur carrée moyenne en fonction du nombre des itérations. La meilleure performance de validation égale à 0.044752 à 334 epochs. L'erreur de l'ensemble « test » et l'erreur de l'ensemble « validation » ont des caractéristiques semblables. L'erreur carrée moyenne finale est petite.

### Explication du fonctionnement

Le contrôleur prédictif de réseau neuronal qui est implémenté dans le logiciel Neural Network Toolbox™ utilise un modèle de réseau neuronal non linéaire pour prédire les performances futures du système. Le contrôleur calcule ensuite l'entrée de contrôle qui optimisera les performances de l'installation sur un horizon temporel futur spécifié.

### Identification du système :

La première étape du contrôle prédictif du modèle consiste à former un réseau de neurones pour représenter la dynamique vers l'avant de la plante. L'erreur de prédiction entre la sortie de l'installation et la sortie du réseau neuronal est utilisée comme signal d'apprentissage du réseau neuronal. Le processus est représenté par la figure suivante :



Le modèle de réseau neuronal utilise les entrées et les sorties précédentes du système pour prédire les valeurs futures de celui-ci.

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2$$

où  $N_1$ ,  $N_2$  et  $N_u$  définissent les horizons sur lesquels l'erreur de poursuite et les incréments de contrôle sont évalués. La variable  $u'$  est le signal de commande provisoire,  $y_r$  est la réponse

souhaitée et  $y_m$  est la réponse du modèle de réseau. La valeur détermine la contribution que la somme des carrés des incréments de contrôle a sur l'indice de performance.

## VIII. Conclusion

Le processus PHM est devenu un élément important pour assurer la fiabilité des systèmes tout en réduisant les coûts des interventions et des pannes. Il est de plus en plus appliqué à des systèmes et des composants industriels tels que les roulements, les batteries, les éoliennes, etc.

Le processus PHM est ensuite introduit par la description de ses différents modules.

Le pronostic est considéré comme la phase la plus importante dans le processus PHM. Il consiste à estimer la durée de vie restante avant défaillance d'un système et à projeter son état de santé dans le futur.

Le pronostic peut être réalisé par trois approches différentes : approche basée sur un modèle physique, approche guidée par les données de surveillance et approche hybride. Le principe de ces approches ainsi que des exemples d'application sont présentés.

Les deux étapes nécessaires avant d'appliquer le PHM à un système, à savoir le choix des composants critiques et la définition des grandeurs physiques à surveiller, sont ensuite décrites. D'un autre côté, un modèle numérique de pronostic utilisant les réseaux de neurones artificielles reproduisant la dynamique de divers sous-systèmes d'une roulement d'une éolienne a été développé dans l'objectif de localiser un comportement anormal dans un sous-système du roulement étudié et calculer sa durée de vie utile restante en se basant sur les signaux de capteurs de vibrations installés sur la bague intérieure, la bague extérieure, la cage et les billes.

Cette étude montre que l'utilisation de la méthode PHM dans la maintenance des MG joue un rôle très important et il est nécessaire de surveiller leur état de santé, estimer leur durée de vie et prendre les décisions appropriées

La maintenance reste une zone sombre. Elle se caractérise autant par la présence de nombreux problèmes que par l'absence d'intérêt de ceux qui la pratique.

C'est aussi un point de divergence entre recherche et industrie : alors que la recherche est résolument tournée vers l'avenir et est capable d'évoluer très rapidement, l'industrie est sans cesse confrontée à la maintenance des acquis développés dans le passé.

## *Conclusion générale*

Les travaux présentés dans ce manuscrit ont porté sur la maintenance des Micro-Grid (MG) par la Prognostics & Health Management (PHM)

Le processus PHM est devenu un élément important pour assurer la fiabilité des systèmes tout en réduisant les coûts des interventions et des pannes. Il est de plus en plus appliqué à des systèmes et des composants industriels tels que les roulements, les batteries, les éoliennes, etc.

Une étude bibliographique a été faite sur les différents modules de PHM, suivie d'une étude plus poussée sur le pronostic et ses différentes approches.

Un survol sur la maintenance d'éolienne est aussi présenté ;

La présente étude a été réalisée dans le but de détecter, prédire et prévenir un bris quelconque lié à une composante principale d'une éolienne qui est le roulement de la boîte des vitesses qui a été choisi d'après la revue de la littérature et une analyse par la méthode PIEU.

Une localisation et une prédiction d'un défaut ont été effectuées dans l'objectif de montrer qu'en se basant sur les informations disponibles pendant une année de données, il est possible de définir le comportement normal d'un roulement en particulier et une éolienne en général. De ce fonctionnement déterminé, il serait alors concevable de détecter un comportement anormal tel qu'un bris d'un sous-système d'un roulement.

Le PHM utilise des données de surveillance acquises au cours du fonctionnement du système pour évaluer son état de santé à tout instant, estimer sa durée de vie résiduelle (RUL) et prendre les décisions appropriées en conséquence. Il permet ainsi d'anticiper les défaillances dans le système et de prolonger sa durée de vie.

D'un autre côté, un modèle numérique de pronostic utilisant les réseaux de neurones artificielles reproduisant la dynamique de divers sous-systèmes d'un roulement d'une éolienne a été développé dans l'objectif de localiser un comportement anormal dans un sous-système du roulement étudié et calculer sa durée de vie utile restante en se basant sur les signaux de capteurs de vibrations installés.

Toutes les analyses effectuées au cours du présent projet pourraient être approfondies si plus de données deviennent disponibles et plus de tests sont faits. Si le nombre d'alertes augmente considérablement sans montrer un signe quelconque de bris, un ajustement des seuils de vibrations ou du paramètre à surveiller sera indispensable et un entretien du système de surveillance sera nécessaire.

# Bibliographie

- [1] <https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/les-microgrids/les-smart-microgrids>
- [2] [https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-quun-microgrid-ou-micro-reseau/2129\\_2](https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-quun-microgrid-ou-micro-reseau/2129_2)
- [3] <https://megmik.com/-djgri45318-u/Microgrid-CRE.html>
- [4] <https://dromen-siguiente.biz/about-microgrids7q2-a1929frzg3>
- [5] [http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/3Theses/7\\_These\\_Microgrids.pdf](http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/3Theses/7_These_Microgrids.pdf)
- [6] <https://www.encyclopedie-energie.org/microgrids-comment-contribuent-ils-a-la-transition-energetique/>
- [7] <http://militairecoup.fun/la-centrale/ob3k672ityefd>
- [8] [https://johnnynieuws.com/micro\\_de\\_guitare-5wv15902cl-.php](https://johnnynieuws.com/micro_de_guitare-5wv15902cl-.php)
- [9] Les micro grids au service d'un transition énergétique plus efficace, Présentation par Dr SOUAG Slimane Enseignant à la faculté des science et technologie de l'université de Mostaganem\_
- [10] <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-quun-microgrid-ou-micro-reseau/2129/>
- [11] <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-quun-microgrid-ou-micro-reseau/2129/>
- [12] [https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin\\_003\\_07.pdf](https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_003_07.pdf)
- [13] <https://www.cder.dz/spip.php?article1442>
- [14] <https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/le-stockage-delectricite/les-differentes-technologies-stationnaires-de-stockage-de-lelectricite>
- [15] Transition énergétique en Algérie
- [16] what is a micro grid pdf
- [17] <http://www.alaskapublic.org/2012/01/18/wind-power-in-alaska/>
- [18] <http://www.akenergyauthority.org/programwindsystem.html>
- [19] Polycopié SAIDI-Hemza BATTERI
- [20] (A GHADA, L GUELLIL - 2020 - dspace.univ-ghardaia.dz)
- (Intelligent Operation and Maintenance of Micro-grid Technology and System Development  
To cite this article: Ming Fu *et al* 2018 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 108 052060)
- [21] (S HLIOUI, G ROSTAING, HBEN AHMED - researchgate.net)
- [22] Maintenance Industrielle PDF
- [23] <https://www.rte-Ainternational.com/maintenance/>
- [24] <https://www.oksa.co/maintenance-des-reseaux-electriques/>
- [25] IOP Conf. Series : Sciences de la terre et de l'environnement 108 (2017) 052060 doi :10.1088/1755-1315/108/5/052060.
- [26] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00724676/document>
- [27] Les différents types de maintenance Pdf
- [28] To cite article ming fu et al 2018 IOP conf . ser:Earth Environ.Sci .108 052060

- [29] <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/un-systeme-scada-surveille-2-479-eoliennes-10662/>
- [30] <https://www.valemo.fr/2019/10/04/dossier-analyse-vibratoire-des-eoliennes>
- [31] Intelligent Operation and Maintenance of Micro-grid Technology and System Développement
- [32] AFNOR. Iso 13381-1 :2004 surveillance et diagnostic des machines - pronostic - partie 1 : Lignes directrices générales
- [33] (Evans and Annunziata 2012).
- [34] Différentes maintenances d'éoliennes.
- [35] O. Langniss, "The German 250-MW wind program," *Energy Foundation's China Sustainable Energy Program*, pp. 1-5, 2006.
- [36] F. Spinato, P. J. Tavner, G. Van Bussel, and E. Koutoulakos, "Reliability of wind turbine subassemblies," *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, pp. 387-401, 2009.
- [37] B. Hahn, M. Durstewitz, and K. Rohrig, "Reliability of wind turbines," *Wind energy*, pp. 329-332, 2007.
- [38] R. M. Brandão, J. B. Carvalho, and F. M. Barbosa, "Neural networks for condition monitoring of wind turbines," in *Modern Electric Power Systems (MEPS), 2010 Proceedings of the International Symposium*, 2010, pp. 1-4.
- [39] A. Stenberg and H. Holttinen, "Analysing failure statistics of wind turbines in finland," in *European Wind Energy Conference, April, 2010*, pp. 20-23.
- [40] Repartition economique de lenergie electrique a laide de la technique des reseaux de neurones artificiels
- [41] Intelligent\_Operation\_and\_Maintenance\_of\_Micro-grid-
- [42] An integrated wind turbine failures prognostic approach implementing Kalman smoother with confidence bounds. Jardine AKS, Lin DM, Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mech. Syst. Signal Process.* 2006;20(7):1483–510.
- [43] Chou J-S, Chiu C-K, Huang I-K, Chi K-N. Failure analysis of wind turbine blade under critical wind loads. *Eng Fail Anal* 2013;27:99–118.