

**République Algérienne Démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique**



**Université BATNA 2**  
**Faculté de Technologie**  
**Département Génie Industriel**



**Mémoire présenté au Laboratoire d'Automatique et Productique LAP**  
**en vue de l'obtention du diplôme de**  
**Magister en Génie Industriel**  
**Option : Génie des systèmes Industriels**

**Par**  
**BOUHAFNA Khayreddine**  
**Ingénieur d'État en Informatique**

**THÈME**

# **Développement d'un système intelligent pour la conduite d'une unité de production d'électricité**

**Directeur de Mémoire : Pr .MOUSS M. DJAMEL**  
**Co-Encadreur : Dr. AITOUCHE Samia**

**Devant le jury :**

<b>MOUSS Leila Hayet</b>	<b>Pr</b>	<b>Université de Batna</b>	<b>Président</b>
<b>HAMOUDA Chaabane</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Batna</b>	<b>Examineur</b>
<b>BENHARZALLAH Saber</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Examineur</b>
<b>MOUSS Med Djamel</b>	<b>Pr</b>	<b>Université de Batna</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>AITOUCHE Samia</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Batna</b>	<b>Co-Rapporteur</b>

**Année universitaire : 2015/2016**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes parents*

*À mes frères*

*À mes sœurs*

*À mes amis*

*À mes enseignants*

## Remerciements

Louange et remerciements à DIEU le tout puissant, qui m'a accordé la foi, le courage, la volonté, la santé et la patience pour réaliser ce travail.

Ce modeste travail a été réalisé au sein du laboratoire d'automatique et productique du département de génie industriel université de Batna.

Tout d'abord, je tiens à remercier très sincèrement et très vivement Pr Mohamed Djamel MOUSS qui a accepté de m'encadrer durant ce travail, pour son aide, ses conseils, son encouragement, sa disponibilité durant la réalisation de ce travail.

Je remercie infiniment Dr. AITUCHE Samia pour son aide, ses conseils, son encouragement, sa gentillesse et le suivi durant ce travail.

J'adresse mes remerciements très sincères aux membres de jury : Pr. L.Hayet MOUSS d'accepter de présider ce jury de soutenance, Dr. HAMOUDA Chaabane et Dr. BENHARZALLAH Saber pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

Mes remerciements sont adressés aux enseignants et personnels du département de génie industriel, spécialement à ceux qui ont contribué à notre formation.

Je remercie très vivement et très sincèrement ma famille pour leur compréhension, leur soutien et leur encouragement.

Finalement, j'adresse mes remerciements les plus sincères à toute ma promotion, à tous mes amis, à ceux qui par un simple mot, sourire ou un geste, m'ont aidé, de près ou de loin, à achever et réaliser ce travail.

# Résumé

---

Il existe plusieurs formes de production d'électricité, en brûlant des combustibles tels que le charbon, le gaz naturel ou le pétrole, qui ont un effet sur l'atmosphère spécialement augmentation des gaz à effet de serre, ou bien à partir des sources renouvelables naturelles comme l'éolienne, l'hydraulique et le solaire qui sont des sources d'énergie propres et renouvelables. Notre travail met l'accent sur les sources solaires spécialement le photovoltaïque, dont nous avons traité la partie conduite des générateurs photovoltaïques en utilisant des méthodes de l'intelligence artificielle, spécifiquement le raisonnement à partir de cas. Le système que nous avons réalisé génère des actions à appliquer sur le générateur en se basant sur son état actuel et le raisonnement à partir des cas antérieurs enregistrés dans la base de cas.

---

## Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Les énergies renouvelables en Algérie et le photovoltaïque.....</b>	<b>3</b>
1.1. Introduction .....	3
1.2. Les sources d'énergie renouvelable .....	4
1.2.1. La biomasse .....	4
1.2.2. L'énergie hydraulique .....	4
1.2.3. La géothermie .....	5
1.2.4. L'éolienne .....	5
1.2.5. L'énergie solaire .....	6
1.3. Source des énergies renouvelables en Algérie .....	7
1.4. Exploitation des énergies renouvelable .....	9
1.5. Le système photovoltaïque.....	10
1.5.1. Cellule photovoltaïque .....	10
1.5.2. Le module photovoltaïque .....	11
1.5.3. Champ PV .....	12
1.5.4. Système de stockage .....	12
1.5.5. Le convertisseur .....	13
1.5.6. Les types des systèmes photovoltaïques .....	13
1.5.6.1. Système photovoltaïque autonome .....	13
1.5.6.2. Système photovoltaïque connecté au réseau .....	13
1.6. Conclusion.....	14
<b>Chapitre 2 : Supervision et problématique de la conduite dans le photovoltaïque.....</b>	<b>15</b>
2.1. Introduction .....	15
2.2. La supervision .....	16
2.2.1 Définition .....	16
2.2.2 Surveillance.....	17
2.2.3 Détection .....	17
2.2.4 Diagnostic .....	18
2.2.5 La conduite.....	18
2.3. Méthodes de surveillance .....	18
2.3.1. Méthodes de surveillance avec modèles .....	19
2.3.2. Redondances physiques et analytiques .....	19

2.3.2.1.	Méthodes d'estimation paramétrique .....	19
2.3.3.	Méthodes de surveillance sans modèles .....	20
2.3.3.1.	Surveillances avec tests statistiques .....	20
2.3.3.2.	Surveillances avec méthodes d'intelligence artificielle.....	20
2.4.	Conduite des systèmes de production .....	21
2.4.1.	Définition .....	21
2.4.2.	Positionnement dans la gestion de production manufacturière.....	22
2.4.2.1.	Planification.....	22
2.4.2.2.	Programmation .....	22
2.4.2.3.	Ordonnancement.....	22
2.4.2.4.	Conduite.....	22
2.4.2.5.	Commande.....	23
2.4.3.	Les fonctions de la conduite .....	24
2.4.4.	Problématique des systèmes de conduite .....	26
2.4.4.1.	Exploitation .....	26
2.4.4.2.	Analyse .....	26
2.5.	Les techniques de l'intelligence artificielle utilisées dans la supervision .....	27
2.5.1.	Les systèmes experts.....	27
2.5.2.	Raisonnement à partir de cas .....	27
2.5.3.	Les réseaux neuronaux.....	29
2.5.4.	Reconnaissance de formes par logique floue.....	30
2.5.5.	Méthodes à base de modèles explicatifs .....	31
2.6.	La supervision des systèmes photovoltaïques .....	31
2.6.1.	Diagnostic et détection des défauts de générateurs photovoltaïques .....	31
2.6.2.	Dimensionnement des systèmes photovoltaïques .....	32
2.6.3.	Suivi du point de puissance maximale.....	33
2.6.4.	Problématique de conduite des systèmes photovoltaïque .....	33
2.7.	Conclusion.....	34
	<b>Chapitre 3 : La conduite utilisant le raisonnement à base de cas.....</b>	<b>35</b>
3.1.	Introduction .....	35
3.2.	Modèle structurel de la conduite .....	35
3.2.1.	Centre d'interprétation .....	36
3.2.2.	Centre d'évaluation .....	36

3.2.3.	Centre de décision.....	37
3.2.4.	Utilisation du raisonnement à base de cas dans la conduite .....	37
3.3.	Le raisonnement à partir de cas .....	37
3.3.1.	Définition d'un cas.....	38
3.3.1.1.	Les parties d'un cas .....	38
3.3.2.	Représentation des cas .....	39
3.3.2.1.	Représentation par vecteur d'attributs.....	39
3.3.2.2.	Représentation complexe .....	41
3.3.3.	Définition d'une base de cas .....	43
3.3.4.	Cycle du RàPC.....	43
3.3.5.	Formulation du problème.....	45
3.3.6.	Retrouver.....	45
3.3.6.1.	Calcul de similarité.....	46
3.3.6.2.	K plus proches voisins (k-nn).....	46
3.3.7.	Réutiliser .....	47
3.3.7.1.	Types d'adaptation .....	47
3.3.7.2.	Méthode d'adaptation.....	48
3.3.8.	Réviser et mémoriser .....	49
3.3.8.1.	Évaluation.....	49
3.4.	Conclusion.....	50
<b>Chapitre 4 : Application du raisonnement à base de cas pour la conduite d'un générateur photovoltaïque.....</b>		<b>51</b>
4.1.	Introduction .....	51
4.2.	Objectifs .....	51
4.2.1.	Améliorer la productivité du générateur .....	51
4.2.2.	Augmenter la disponibilité du générateur.....	52
4.2.3.	Augmenter la durée de vie du système .....	52
4.3.	Application de la conduite par raisonnement à partir de cas.....	52
4.3.1.	Architecture d'un système photovoltaïque connecté au réseau .....	52
4.3.2.	Architecture du système de conduite automatique .....	54
4.3.3.	Modélisation du système.....	55
	Méthode de réglage d'inclinaison.....	58
4.3.4.	Calcul de la similarité .....	59
4.3.5.	Les règles d'adaptation .....	61

4.3.6. Révision du cas .....	61
4.4. L'outil de développement.....	65
4.5. Fonctionnement générale de l'application de conduite.....	65
4.6. Déploiement de l'application .....	66
4.6.1. Paramétrage de l'application.....	66
4.6.2. Construction de la base de cas .....	68
4.7. Test de l'application .....	70
4.8. Exemple d'application du système.....	71
4.8.1. Paramétrage de l'application.....	71
4.8.2. Construction de la base de cas .....	72
4.8.3. Les tests.....	73
4.8.4. Analyse des résultats.....	74
4.9. Conclusion.....	75
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>76</b>
<b>Référence bibliographique .....</b>	<b>77</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>81</b>
Présentation des différents onglets de l'application .....	81
1. L'onglet état du système .....	81
2. L'onglet paramètres du système .....	83
3. L'onglet modèle de la cellule photovoltaïque.....	85
4. Onglet test&simulation .....	87
5. L'onglet consultation des cas.....	88
6. L'onglet Ajouter un cas .....	89
7. L'onglet modifier un cas .....	90
8. L'onglet historique.....	91



## **Chapitre 01**

**Fig.1.1.** La durée moyenne annuelle d'insolation mesurée entre 1992-2002

**Fig.1.2.** La moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue par une surface horizontale entre 1992-2002

**Fig.1.3.** schéma simplifié d'un système photovoltaïque

**Fig.1.4.** structure d'une cellule photovoltaïque [APG]

**Fig.1.5.** module photovoltaïque avec deux diodes bypass [BUN]

**Fig.1.6.** Différents étages du groupe convertisseurs

## **Chapitre 02**

**Fig. 2.1** Architecture de la supervision

**Fig.2.2.** Architecture de la surveillance

**Fig.2.3.** Classification des méthodes de surveillance [ZAM]

**Fig.2.4** positionnement de la conduite dans la gestion de production [CLA]

**Fig.2.5.** Environnement de la conduite [CLA]

**Fig.2.6. :** Principales fonctions de la conduite [CLA]

**Fig.2.7.** Schéma d'un système expert [RAC]

**Fig.2.8.** Cycle du raisonnement à partir de cas [RAC]

**Fig.2.9.** architecture d'un réseau de neurones [RAC]

## **Chapitre 03**

**Fig.3.1.** Modèle structurel de la conduite [DAM]

**Fig.3.2** Exemple de représentation d'un cas

**Fig.3.3.** exemple d'une classe et d'un objet

**Fig.3.4** cycle du RàPC

**Fig.3.5** types d'évaluation [MIC]

## **Chapitre 04**

**Fig.4.1.** Architecture d'un générateur connecté au réseau selon la recommandation UTE C 15-712 [UTE]

**Fig.4.2.** schématisation du système de conduite

**Fig.4.3.** Les composantes du système de conduite

**Fig.4.4.** Les attributs du cas du système

**Fig.4.5.** Schéma du modèle à une diode [HEL]

**Fig.4.6.** schéma du modèle de Bishope [BUN]

**Fig.4.7.** Organigramme de fonctionnement générale de l'application

**Fig.4.8** Onglet de paramétrage du système

**Fig.4.9** Onglet Modèle de cellule photovoltaïque

**Fig.4.10.** L'interface d'ajout des cas

**Fig.4.11.** Consultation de la base de cas

**Fig.4.12.** Modification du cas

**Fig.4.13.** L'interface de test

## Introduction générale

L'électricité est l'énergie la plus consommée et la plus demandée dans le monde. C'est un vecteur d'énergie qui connaît une multitude d'applications. Elle est utilisée dans la quasi-totalité des types d'activité humaine, de la production industrielle à l'usage ménager, en passant par l'agriculture et le commerce, pour faire fonctionner les machines, pour l'éclairage et le chauffage.

L'électricité est produite sous forme d'énergie primaire et secondaire. L'électricité primaire s'obtient à partir de sources naturelles telles que l'énergie hydraulique, éolienne, solaire, marémotrice. L'électricité secondaire est générée à partir de la chaleur résultant de la fission des combustibles nucléaires, de la chaleur géothermique et solaire, et en brûlant des combustibles primaires classiques et assimilés, tels que le charbon, le gaz naturel, le pétrole et les déchets. Une fois produite, l'électricité est distribuée aux consommateurs finaux via des réseaux de transport et de distribution nationaux ou internationaux.

Il existe plusieurs formes d'énergie renouvelables, dérivées directement ou indirectement du soleil ou de la chaleur produite au plus profond de la Terre, notamment l'énergie générée par le soleil, le vent, la biomasse et la biomasse solide, la chaleur terrestre, l'eau des fleuves, des lacs, des mers et des océans, le biogaz et les biocarburants liquides.

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22 000 MW entre 2011 et 2030 dont 12 000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10 000 MW à l'exportation. L'exportation de l'électricité est toutefois conditionnée par l'existence d'une garantie d'achat à long terme, de partenaires fiables et de financements extérieurs.

A la faveur de ce programme, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétiques et économique menées par l'Algérie : d'ici 2030, environ 40% de la production d'électricité destinée à la consommation nationale sera d'origine renouvelable. En effet, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir du solaire photovoltaïque et du solaire thermique qui seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance.

Le programme de développement de l'énergie renouvelable a donné une grande importance à l'énergie solaire notamment le photovoltaïque. Notre contribution est dans ce contexte don nous allons aborder la conduite des systèmes photovoltaïques.

Notre travail est divisé en quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous allons présenter les énergies renouvelables disponibles en Algérie et nous allons maitre l'accent sur le photovoltaïque. Le deuxième chapitre est consacré à un état de l'art sur les méthodes de l'intelligence artificielle utilisées dans la supervision spécialement pour les systèmes photovoltaïques. Nous allons introduire dans le troisième chapitre la conduite et l'utilisation de raisonnement à base des cas dans la conduite. Le dernier chapitre illustre notre application de conduite des systèmes photovoltaïques par approche raisonnement à base de cas.

## Chapitre 1 : Les énergies renouvelables en Algérie et le photovoltaïque

### 1.1. Introduction

L'énergie renouvelable est l'énergie dérivée de processus naturels en perpétuel renouvellement. Sont considérées comme énergies renouvelables toutes les énergies issues du soleil, directement (énergie solaire) ou indirectement (énergie éolienne, hydraulique et biomasse), l'énergie issue du magma terrestre (géothermie) et l'énergie issue de la gravitation (énergie marémotrice) [BAL]. Les diverses énergies que l'on pourrait tirer des océans, telles que l'énergie de la houle, des courants marins ou du gradient thermique des mers, sont également issues indirectement de l'énergie solaire et font partie du champ des énergies renouvelables.

Le débat sur le changement climatique a sans conteste stimulé le développement des énergies renouvelables en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ce qui fait, depuis 1990, les sources d'énergie renouvelable dans le monde ont progressé à un rythme annuel moyen de 1,7 %, soit légèrement plus que le rythme de croissance de la production totale d'énergie primaire. Cette croissance a été particulièrement marquée pour les nouvelles énergies renouvelables (éolienne, solaire), lesquelles ont progressé en moyenne de 19% par an.

L'Algérie dispose de gisement important des sources des énergies renouvelables, mais l'exploitation de ces derniers est faible en ce temps. À cause d'épuisement des sources d'énergie fossile, l'Algérie a lancé un programme pour l'exploitation des énergies renouvelables, l'énergie de future, spécialement l'énergie solaire pour la production d'électricité.

Dans ce chapitre, nous aborderons les types de source d'énergie renouvelables, les sources que dispose l'Algérie et leurs exploitations, ainsi nous allons voir les installations photovoltaïques pour la production d'électricité.

## **1.2. Les sources d'énergie renouvelable**

Les sources des énergies renouvelables, sont des sources qui se renouvellent et ne s'épuiseront jamais à l'échelle du temps humain. Les sources non renouvelables sont les énergies fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés. Les sources renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse.

### **1.2.1. La biomasse**

On appelle les énergies biomasses tous les matériaux d'origine biologique employés comme combustible pour la production de chaleur, d'électricité, de gaz et de carburants. Le bois, le biogaz et les biocarburants sont les principales énergies biomasses. Toutes ces énergies sont renouvelables, émettent moins de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère à l'utilisation et permettent, quand cela est possible, l'exploitation des ressources locales. La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes. La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes, les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz.

### **1.2.2. L'énergie hydraulique**

L'hydraulique est une des premières énergies domestiquée par l'homme (moulins au fil de l'eau, bateaux à aubes,...). L'hydroélectricité, c'est-à-dire la production d'électricité à partir de la force de l'eau, est apparue au milieu du XIXe siècle. Appelée la "houille blanche", elle a été synonyme d'un développement économique très important. La centrale hydroélectrique exploite la force de l'eau pour générer de l'électricité. Son principe est de capter l'eau et la forcer à entraîner une turbine reliée à une génératrice. Pour les faibles dénivellations, une petite digue oriente une fraction du débit vers les turbines. Pour les grandes dénivellations, des conduites suivent la pente de la montagne pour amener l'eau vers les turbines.

La filière des énergies marines appelées aussi énergie des océans ou thalasso-énergies, comprend le développement des technologies, la maîtrise et l'exploitation des flux d'énergies naturelles fournies par les mers et les océans. On recense : la houle, l'énergie des vagues, l'énergie des courants, l'énergie des marées et l'énergie thermique des mers (ETM) qui travaille sur le gradient thermique entre les couches d'eau de surface et celle des profondeurs. [ENR]

### **1.2.3. La géothermie**

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. L'utilisation des ressources géothermales se décompose en deux grandes familles : la production d'électricité et la production de chaleur. En fonction de la ressource, de la technique utilisée et des besoins, les applications sont multiples. Le critère qui sert de guide pour bien cerner la filière est la température. Ainsi, la géothermie est qualifiée de « haute énergie » (plus de 150°C), « moyenne énergie » (90 à 150°C), « basse énergie » (30 à 90°C) et « très basse énergie » (moins de 30°C).

La production d'électricité géothermique consiste à convertir la chaleur des nappes aquifères haute température (de 150 à 350°C) à l'aide de turboalternateurs. Si la température de la nappe est comprise entre 100 et 150°C, il est également possible de produire de l'électricité, mais en utilisant la technologie du cycle binaire. Dans ce cas, un échangeur transmet la chaleur de la nappe à un fluide (isobutane, isopentane, ammoniac) qui a la propriété de se vaporiser à une température inférieure à celle de l'eau.

### **1.2.4. L'éolienne**

L'énergie cinétique des vents peut être convertie en des formes utiles d'énergie telles que l'énergie mécanique ou l'électricité. L'énergie éolienne est exploitée depuis des siècles. Elle a servi à propulser les bateaux à voiles, et à faire tourner les moulins à grains et les pompes à eau. À l'heure actuelle, l'énergie éolienne est de plus en plus utilisée pour générer de l'électricité. Des turbines dotées de grandes hélices sont érigées dans des parcs éoliens situés dans des zones stratégiques ayant de bons régimes éoliens et étant à proximité de réseaux électriques existants. L'énergie éolienne n'est captée que lorsque la vitesse du vent est suffisante pour mettre en mouvement les hélices de la turbine, mais pas assez élevée pour les endommager. [RNC]

Une éolienne est constituée d'un rotor à 2 ou 3 pales, d'un système de transmission mécanique directe ou à multiplicateur et de circuits de gestion du courant (régulateur, onduleur, etc., selon le type de machine). L'ensemble se trouve dans la nacelle posée sur le mât, ou la tour, de l'éolienne. Le vent fait tourner les pales qui entraînent le générateur électrique, d'où l'appellation aérogénérateur pour désigner les éoliennes qui fabriquent de l'électricité. Le courant produit est rendu compatible avec le réseau de distribution qui le reçoit. Tous les éléments d'un aérogénérateur font appel à ce que la technologie offre d'aujourd'hui de mieux. Ainsi les pales ont-elles des profils et des matériaux issus de l'aéronautique. Quant aux parties électriques, leur rendement avoisine souvent 100 %, les pertes étant plutôt d'origine mécanique (frottements, rendements des engrenages, etc.). Globalement, les aérogénérateurs sont des machines qui affichent un bon rendement, puisqu'elles sont en mesure de transformer en électricité 30 à 50 % de l'énergie du vent. [ENR]

### 1.2.5. L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie du soleil sous forme de lumière et de chaleur rayonnées. L'énergie du soleil peut être utilisée pour éclairer et chauffer des bâtiments, mais aussi pour produire de l'électricité. À l'heure actuelle, deux technologies solaires actives mettant en jeu des appareils électriques ou mécaniques deviennent de plus en plus courantes. Premièrement, des panneaux ou collecteurs solaires sont utilisés pour chauffer l'eau ou l'air de ventilation dans les bâtiments. Deuxièmement, la technologie photovoltaïque solaire utilise des cellules solaires pour convertir directement la lumière du soleil en électricité.

La concentration du rayonnement solaire sur une surface de captage permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprises entre 400 C° et 1 000 C°. La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'héliothermodynamie. Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

- Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.
- Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.



- Troisième technologie : des capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro-puissance calculé en watt crête ( $W_c$ ) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. Nous venons de décrire les systèmes photovoltaïques en détail dans ce chapitre.

### 1.3. Source des énergies renouvelables en Algérie

Dans cette partie nous nous intéresserons à l'énergie solaire uniquement. L'Algérie dispose d'un gisement solaire parmi les plus importants dans le monde. Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables a fait une évaluation de gisement solaire algérien sous forme d'un Atlas solaire [YAI]. Les auteurs de cet Atlas ont développé une méthode d'estimation de l'irradiation solaire globale pour différents types de ciel, à partir de la durée d'insolation mesurée. L'étude faite a porté sur 48 sites répartis sur le territoire national pour lesquels les auteurs disposent des données d'insolation sur une période de 11 années.

Cette étude montre que la durée moyenne annuelle d'insolation mesurée est entre 7.5 et 8 heures dans la région nord du pays, et elle est entre 9 et 9.5 heures dans le Sahara elle est à proximité de 10 heures dans les régions de Tindouf et d'Illizi. La figure 1.1 montre plus de détails sur la durée d'insolation sur le territoire national.

Cependant, la moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue par une surface horizontale est entre 4500 et 5300  $Wh/m^2$  par jour dans la région nord du pays, et elle est entre 5700 et 6900  $Wh/m^2$  par jour dans le Sahara, elle dépasse les 6900  $Wh/m^2$  par jour dans la région est de Tamanrasset comme il est illustré dans la figure 1.2.

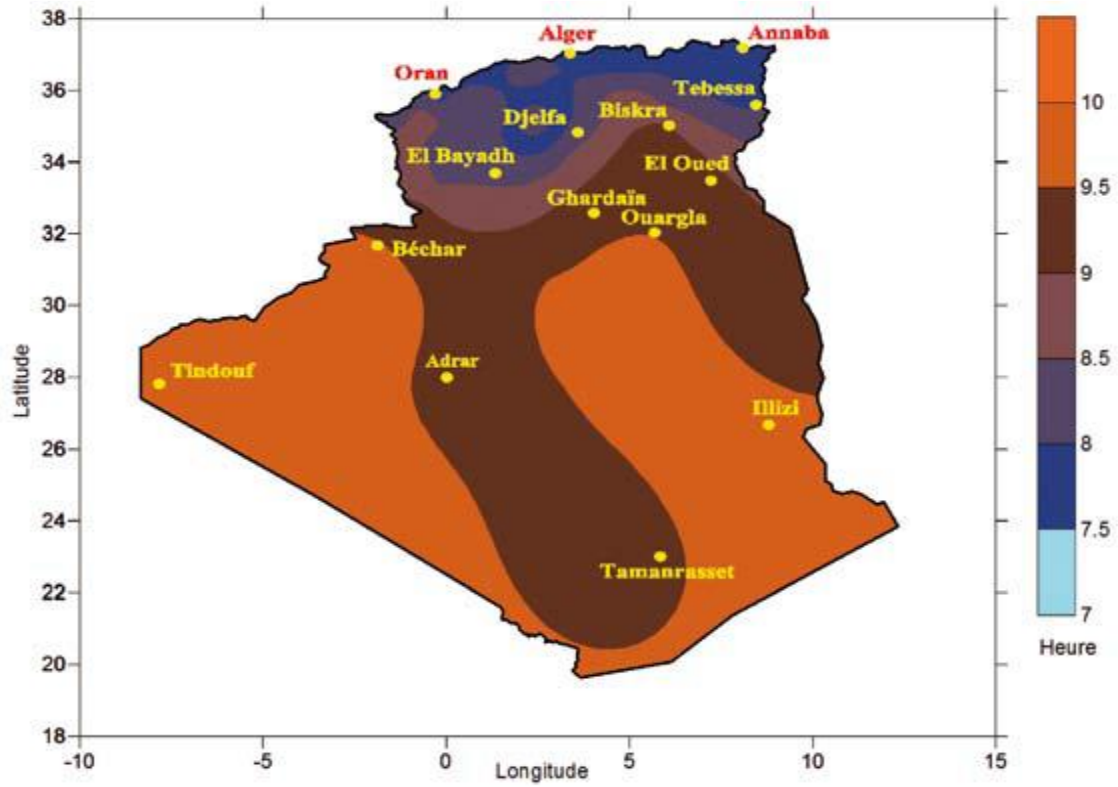


Fig.1.1. La durée moyenne annuelle d'insolation mesurée entre 1992-2002 [YAI]

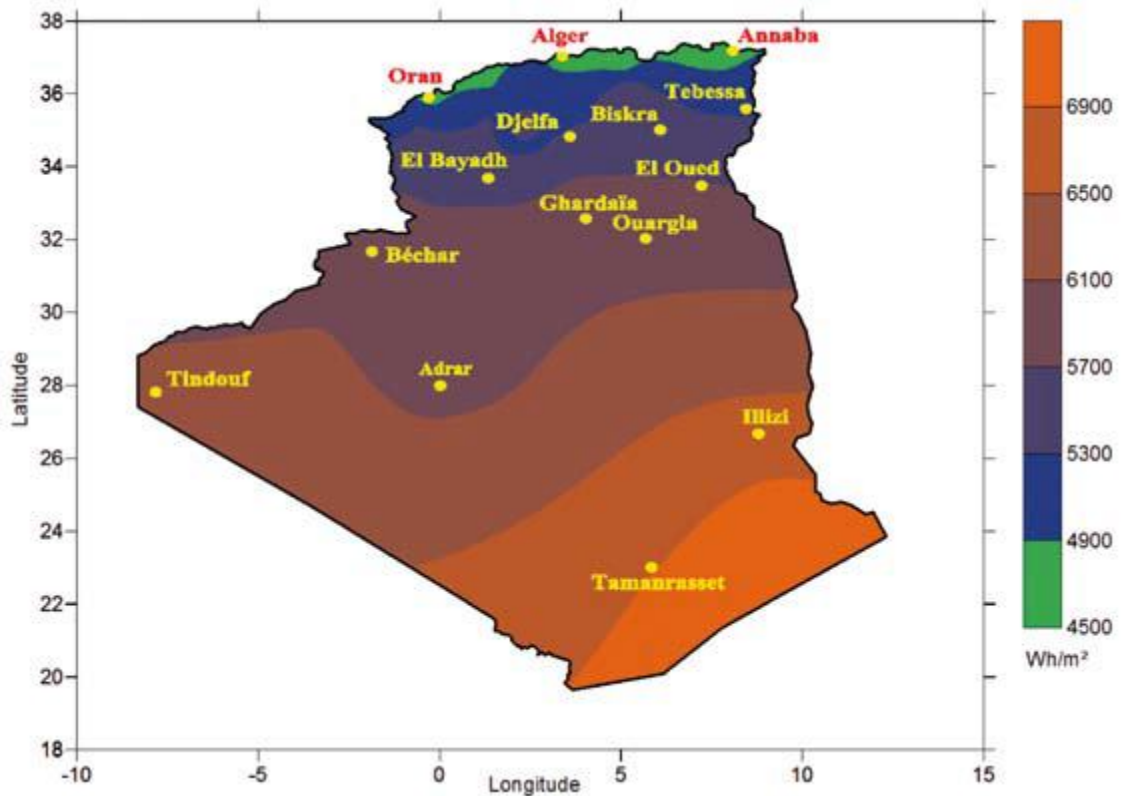


Fig.1.2. La moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue par une surface horizontale entre 1992-2002 [YAI]

## 1.4. Exploitation des énergies renouvelables

L'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique national constitue un enjeu majeur dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable. A la faveur du programme de développement des énergies renouvelables 2011-2030 adopté par le Gouvernement en février 2011, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétiques et économiques menées par l'Algérie.

La première phase de ce programme consiste à réaliser des projets pilotes et de tester les différentes technologies disponibles, durant laquelle des éléments pertinents concernant les évolutions technologiques des filières considérées sont apparus sur la scène énergétique et ont conduit à la révision de ce programme.

La révision de ce programme porte ainsi, sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie, et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique.

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020. La répartition de ce programme par filière technologique, se présente comme suit :

- Solaire Photovoltaïque : 13 575 MW
- Éolien : 5010 MW
- Solaire thermique : 2000 MW
- Biomasse : 1 000 MW
- Cogénération : 400 MW
- Géothermie : 15 MW

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité.

## 1.5. Le système photovoltaïque

Dans la partie précédente, nous avons vu que la source d'énergie renouvelable la plus importante en Algérie est le solaire. Ainsi, dans le programme de développement de ces énergies, on voit qu'une grande partie d'énergie à produire est par le solaire photovoltaïque. Dans ce qui suit, nous présenterons le système photovoltaïque en décrivant ses différents composants. La figure 1.3 représente le schéma simplifié d'un système photovoltaïque :

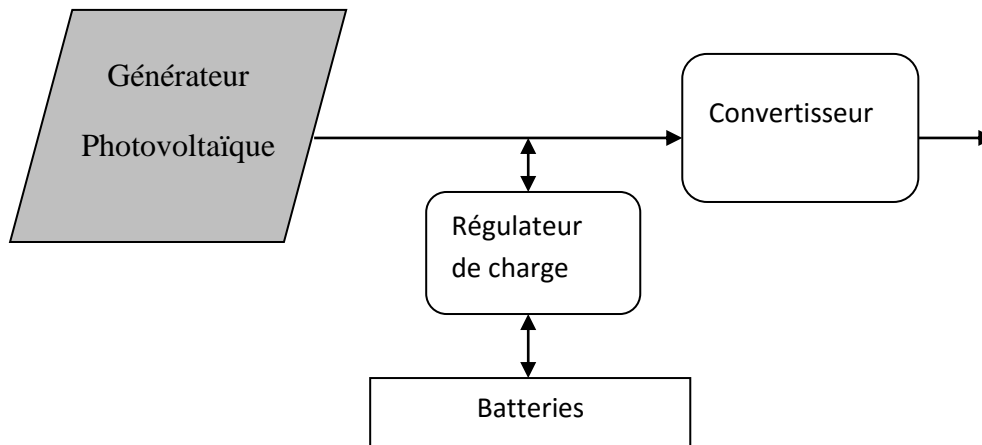


Fig.1.3. Schéma simplifié d'un système photovoltaïque

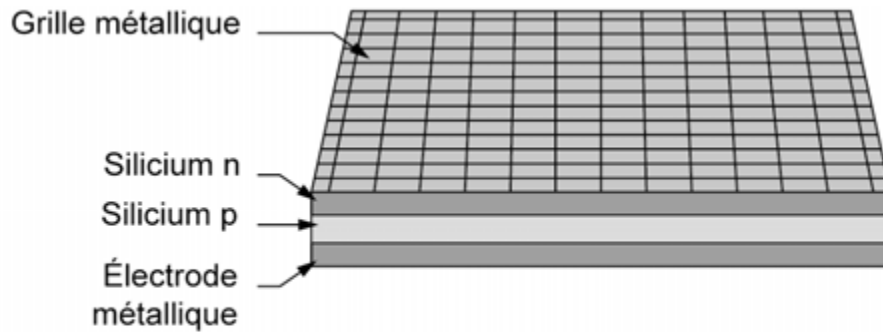
### 1.5.1. Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électronique par un processus appelé effet photovoltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs comme le silicium. [BEL][HEL]

Dans la cellule photovoltaïque, c'est la création d'une différence de potentiel entre ses bornes que permet la circulation du courant. Et c'est le dopage des parties avant et arrière de la tranche de silicium qui va permettre l'apparition de cette différence de potentiel : [APG]

- dopage de type **p** sur une face, par adjonction d'atomes de bore (B), contenant moins d'un (01) électron périphérique par atome que le silicium ;
- dopage de type **n** sur l'autre face, par adjonction d'atomes de phosphore (P), contenant plus d'un (01) électron périphérique par atome que le silicium.

Le rendement de conversion des cellules commercialisées atteint actuellement 15 à 19% pour le silicium monocristallin, 12 à 16 % pour le silicium polycristallin, 7 à 9% pour le silicium amorphe. La tension de fonctionnement de la cellule est autour de 0,6 V sous  $1\ 000\text{W/m}^2$ . La figure suivante montre la structure d'une cellule photovoltaïque.



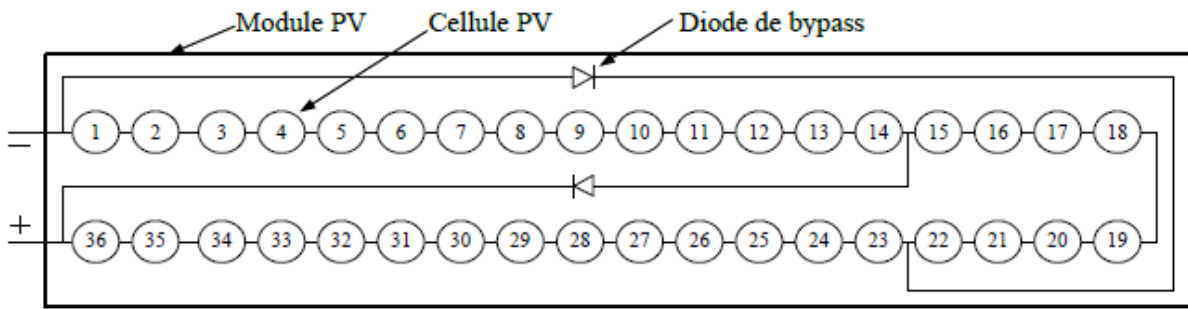
**Fig.1.4.** Structure d'une cellule photovoltaïque [APG]

### 1.5.2. Le module photovoltaïque

La tension et le courant, donc la puissance, d'une cellule ne sont pas adaptées aux applications courantes, il est donc nécessaire de les associer. De plus, les cellules photovoltaïques sont fragiles et sensibles à l'environnement extérieur, elles sont donc munies d'une protection mécanique (l'encapsulation). Pour toutes ces raisons, les cellules sont assemblées en modules photovoltaïques. [BUN]

Les cellules sont généralement connectées en série dans les modules courants commercialisés. La mise en série des cellules permet d'augmenter la puissance. Le courant reste identique tandis que la tension est multipliée par le nombre de cellules en série.

Les cellules dans un module sont associées en plusieurs groupes. Chaque groupe est ensuite connecté en antiparallèle avec une diode, appelée diode de bypass ou diode de dérivation. Cette diode sert à protéger les cellules contre leur fonctionnement dans le régime inverse. La figure 1.5 montre un module avec deux diodes bypass.



**Fig.1.5.** module photovoltaïque avec deux diodes bypass [BUN]

### 1.5.3. Champ PV

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire de regrouper les modules en série et en parallèle. Ce groupement forme un champ photovoltaïque. Il existe plusieurs configurations possibles pour interconnecter les modules dans un champ photovoltaïque : connexion série parallèle simple, connexion Total Cross Tied, connexion Bridge Linked. [BUN]

### 1.5.4. Système de stockage

Le système de stockage permet de stocker l'énergie produite pour l'utiliser ultérieurement, il est composé d'un ensemble de batteries. Ces derniers sont connectés à un régulateur de charge qui évite la décharge profonde et la surcharge des batteries qui conduirait forcément à leur destruction.

Les principales caractéristiques d'une batterie sont :

**Tension nominale :** C'est la force électromotrice de la batterie en fonction du couple électrochimique utilisé, elle s'exprime en volts.

#### *Exemples*

*CdNi à quatre éléments :*  $4 \times 1,2 \text{ V} = 4,8 \text{ V}$  nominal

**Tension de charge :** C'est la tension minimale à appliquer pour charger efficacement la batterie, elle s'exprime en volts.

#### *Exemples*

*Tension de charge du CdNi :* 1,4 V par élément, soit pour quatre éléments :

$4 \times 1,4 \text{ V} = 5,6 \text{ V}$  en charge

**Capacité de la batterie :** C'est la quantité d'énergie que l'on peut stocker dans la batterie, elle s'exprime en *ampères-heures* (Ah), car on comptabilise cette énergie par le produit du courant que l'on tirerait (en A) par la durée de cette décharge (en heures). [APG]

### 1.5.5. Le convertisseur

Le convertisseur a pour rôle d'extraire la puissance maximale du générateur PV et la convertir en puissance alternative. Pour accomplir ce rôle, ce groupe de convertisseurs est composé d'un étage de hacheur suivi par un étage d'onduleur.

Le hacheur a pour rôle d'extraire la puissance maximale du générateur PV. C'est pourquoi il est muni d'un algorithme de recherche de type MPPT (Maximum Power Point Tracker). La puissance maximale extraite est ensuite convertie en puissance alternative active par l'onduleur.

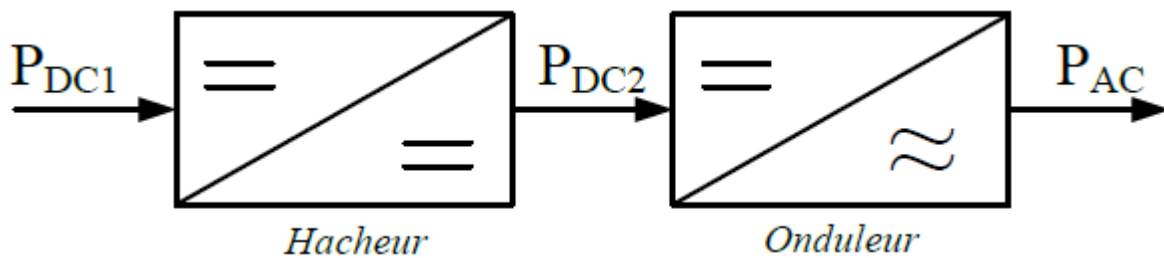


Fig.1.6. Différents étages du groupe convertisseurs.

### 1.5.6. Les types des systèmes photovoltaïques

Il existe deux types de systèmes photovoltaïques : un système photovoltaïque autonome et un système photovoltaïque connecté au réseau.

#### 1.5.6.1. Système photovoltaïque autonome

Le système photovoltaïque autonome est utilisé dans des zones isolées, l'électricité produite par le générateur photovoltaïque est consommée directement, l'énergie supplémentaire est stockée dans des batteries pour l'utiliser lorsque la production n'est pas suffisante. Alors le système se compose d'un générateur, un régulateur de charge, des batteries et d'un convertisseur.

#### 1.5.6.2. Système photovoltaïque connecté au réseau

Dans le système photovoltaïque connecté au réseau, la totalité de l'énergie produite est injectée dans le réseau. Ce genre de système est utilisé pour vendre l'électricité. Sa structure est la suivante : un générateur connecté à un convertisseur, le convertisseur est connecté au réseau de distribution d'électricité.

## 1.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les types d'énergies renouvelables et le potentiel que dispose l'Algérie de ces énergies. Le gisement solaire algérien est parmi les plus grands gisements dans le monde. Cependant, son exploitation actuelle est marginale.

Le programme national de développement des énergies renouvelables a donné une partie major au solaire photovoltaïque pour la production d'électricité, ce qui va engendrer le développement et l'utilisation des technologies du photovoltaïque au niveau national.

La tendance vers les énergies renouvelables va diminuer considérablement l'utilisation des énergies fossiles pour la production d'électricité. Parce que le gisement algérien est important, son bon exploitation peut satisfaire nos besoins en électricité aussi que l'exportation à l'étranger à long terme.



## Chapitre 2 : Supervision et problématique de la conduite dans le photovoltaïque

### 2.1. Introduction

Avec le progrès technologique, la production industrielle est automatisée. Cette automatisation concerne tous les aspects de l'activité industrielle : production, assemblage, contrôle, conditionnement, manutention, stockage. Elle a pour objectifs de diminuer le coût de production, suppression de travaux dangereux, améliorer la qualité et réalisation des opérations impossibles à réaliser manuellement. Le système automatique de production (SAP) se compose de deux parties : parties opérationnelle (PO) qui agit sur les produits et une partie commande (PC) qui traduit le savoir-faire du concepteur à un ensemble de commandes pour obtenir les actions réalisées sur les produits afin d'assurer la valeur ajoutée.

La partie opérative est une reproduction physique des commandes envoyées par les opérateurs humains de supervision afin d'agir sur les actionneurs. Après la réalisation des instructions un compte rendu est envoyé au PC pour prendre en considération les nouvelles informations. La commande regroupe toutes les actions qui agissent directement sur les actionneurs du système, lorsque la commande n'est pas capable de prendre une décision, la supervision intervient dans cette situation, résulte d'une défaillance, qui nécessite la reconfiguration du procédé.

La supervision a pour objectif d'assurer la gestion réactive des modes de fonctionnement du système. Ces modes de fonctionnement sont définis à partir de l'analyse des données du système, la connaissance du système et le savoir-faire de l'opérateur. Il faut alors exploiter au maximum toutes les informations disponibles sur le système pour pouvoir détecter les éventuels dysfonctionnements d'un processus et les diagnostiquer et réagir en conséquence de façon à assurer son fonctionnement même en situations anormales. Alors, l'opérateur a besoin d'outils qui l'aident dans sa tâche de surveillance pour garantir le fonctionnement correcte et de réagir en cas des événements anormaux se produisent.

Dans ce chapitre, nous allons voir de manière générale le concept de supervision et les méthodes de l'intelligence artificielle appliquées dans la supervision. Ainsi que nous allons aborder la supervision des générateurs photovoltaïques et les travaux réalisés dans ce domaine.

## 2.2. La supervision

### 2.2.1 Définition

La supervision a pour but de contrôler l'exécution d'une opération ou d'un travail effectué par d'autres sans rentrer dans les détails de cette exécution. La supervision recouvre l'aspect fonctionnement normal et anormal. [SIL]

En fonctionnement normal, son rôle est surtout de prendre en temps réel les dernières décisions correspondant aux degrés de liberté exigés par la flexibilité décisionnelle. Pour cela, elle est amenée à faire de l'ordonnancement temps réel, de l'optimisation, à modifier en ligne la commande et à gérer le passage d'un algorithme de surveillance à l'autre. En présence de défaillance, la supervision va prendre toutes les décisions nécessaires pour le retour vers un fonctionnement normal. Après avoir déterminé un nouveau fonctionnement, il peut s'agir de choisir une solution curative, d'effectuer des réordonnements "locaux", de prendre en compte la stratégie de surveillance de l'entreprise, de déclencher des procédures d'urgence, etc. [SIL]

Pour la mise en place d'un système de supervision les tâches suivantes doivent être prises en charge : la surveillance traite les données collectées du système en temps réel, détection, diagnostic, la conduite, l'aide à la décision.

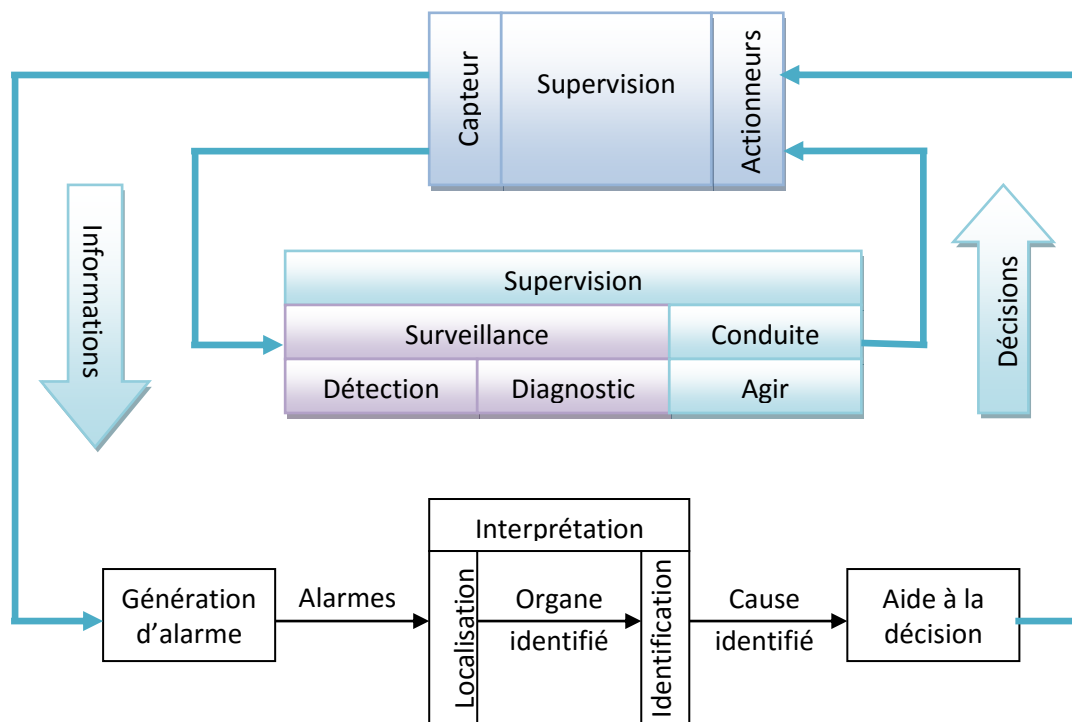


Fig. 2.1 Architecture de la supervision

La supervision se fait par la comparaison des données acquises à partir du système avec celles du modèle théorique du système, cette comparaison permet de détecter le bon et le mauvais fonctionnement du système.

### 2.2.2 Surveillance

La surveillance est un dispositif passif, informationnel, qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs. Elle utilise les données provenant du système pour déterminer l'évolution de ce dernier et détermine l'état de son fonctionnement. La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution du système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières.

La surveillance se compose de deux fonctions principales qui sont la *détection* et le *diagnostic*.

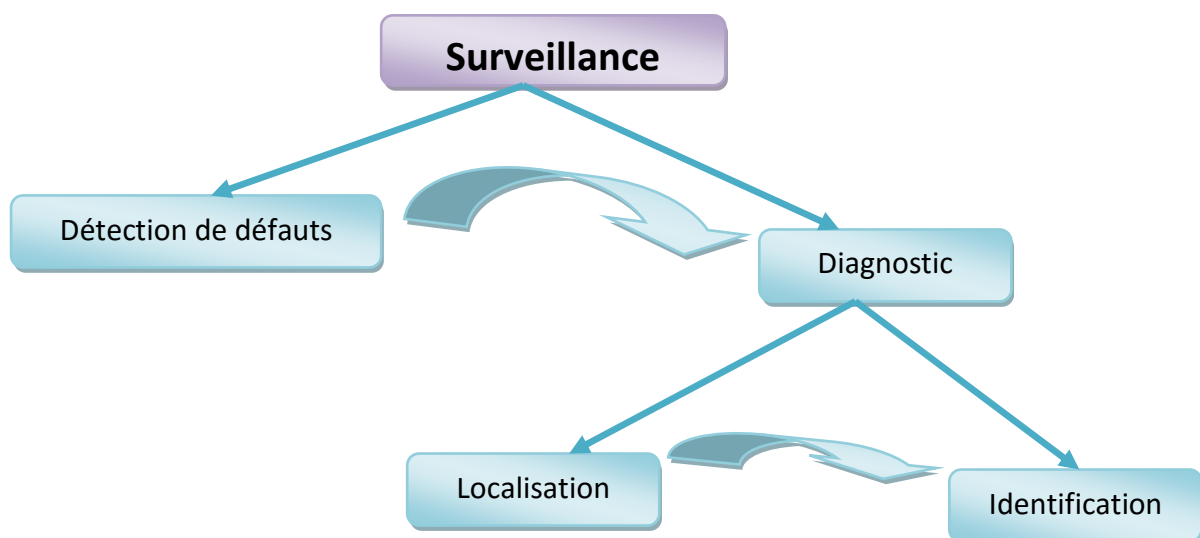


Fig.2.2. Architecture de la surveillance

### 2.2.3 Détection

La détection consiste à décider si le système est en état de fonctionnement normal, en comparant les valeurs des résidus avec celle fixées auparavant.

Pour détecter les défaillances du système, il faut être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant donnée le manque d'informations qui caractérise généralement les situations anormales. Une simplification communément adoptée consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale.

### 2.2.4 Diagnostic

L'objectif de la fonction diagnostic est de rechercher les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une observation particulière. La fonction de diagnostic se décompose en deux fonctions élémentaires : localisation et identification des causes. La localisation permet de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant tandis que l'identification de la cause consiste à déterminer les causes qui ont mené à une situation anormale.

À partir de l'observation d'un état de panne, la fonction diagnostic est chargée de retrouver la faute qui en est à l'origine. Ce problème est difficile à résoudre. En effet si, pour une faute donnée, il est facile de prédire la panne résultante, la démarche inverse qui consiste à identifier la faute à partir de ses effets, est beaucoup plus ardue. Une défaillance peut généralement être expliquée par plusieurs fautes. Il s'agit alors de confronter les observations pour fournir la bonne explication.

### 2.2.5 La conduite

La conduite est la fonction destinée à contrôler le comportement futur et immédiat du processus de production selon un procédé donné pour atteindre les objectifs de production exprimés en termes de qualité et de productivité. [ABE]

## 2.3. Méthodes de surveillance

L'existence d'un modèle formel ou mathématique de l'équipement détermine la méthode de surveillance utilisée. Alors on distingue deux grandes branches de méthodes de surveillance celle à base de modèle et autre sans modèle.

Les méthodes qui se basent sur un modèle comparent les informations collectées à partir des capteurs avec celles du modèle pour déterminer le bon fonctionnement du système. Elle se compose essentiellement de deux techniques : méthodes de redondance physique et analytique et méthodes d'estimation paramétrique.

Les méthodes sans modèle se divisent en deux catégories : méthodes utilisant des outils statistiques et méthodes utilisant les techniques de l'IA. Les outils statistiques établissent des tests sur les signaux d'acquisition. Ces tests ne sont capables d'assurer que la fonction de détection de défaillances. Les techniques de l'IA pour la surveillance sont plus élaborées et sont capables de détecter et de diagnostiquer les défaillances. Les plus utilisées sont les

systèmes experts qui émulent un expert humain, on trouve aussi parmi ces techniques les réseaux de neurones, la logique floue, La reconnaissance des formes. [ZEM][RAC][IKH]

### 2.3.1. Méthodes de surveillance avec modèles

Les méthodes de surveillance avec modèle ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance. Ces méthodes peuvent être séparées en deux techniques : techniques de redondance physique et analytique et techniques d'estimation paramétrique.

### 2.3.2. Redondances physiques et analytiques

#### *a. Redondances physiques*

Cette méthode consiste à multiplier physiquement les capteurs critiques d'une installation. Un traitement des signaux issus des éléments redondants effectue des comparaisons et distingue l'élément défectueux en cas d'incohérence. Cette méthode est pénalisante en termes de volume du système et, cout (d'achat et de maintenance) et puissance consommée. Elle est donc essentiellement réservée aux cas où la continuité de service est obligatoire comme dans l'aérospatiale et le nucléaire. En effet, elle apporte l'avantage, une fois la défaillance détectée et localisée, de pouvoir utiliser la partie de l'équipement encore saine mais elle ne s'applique généralement que sur des capteurs. [MAH] [ZEM]

#### *b. Redondances analytiques*

Cette approche conduit à une réécriture des équations d'état et de mesure, dans laquelle seules des variables connues sont autorisées à figurer. Le principe consiste à établir un modèle du système à surveiller qui comprend un certain nombre de paramètres qui sont supposés connus lors du fonctionnement nominal. Le but des méthodes de redondance analytique est d'estimer l'état du système afin de le comparer à son état réel. L'estimation de l'état du système peut être réalisée soit à l'aide de techniques d'estimation d'état, soit par obtention de relations de redondance analytique. [MAH] [ZEM]

#### 2.3.2.1. Méthodes d'estimation paramétrique

L'approche d'estimation paramétrique mesure l'influence des défauts sur les paramètres. Le principe consiste à estimer en continu des paramètres du procédé en utilisant les mesures d'entrée/sortie et en l'évaluation de la distance qui les sépare des valeurs de référence de l'état normal du procédé. Pour détecter l'apparition de défaillances dans le

système, il faut effectuer la comparaison entre les paramètres estimés et les paramètres théoriques. [MAH]

### 2.3.3. Méthodes de surveillance sans modèles

La plupart des systèmes industriels sont très compliqués, dont le modèle analytique est impossible à développer pour ces derniers, alors pour ces systèmes la supervision par les méthodes avec modèles vues précédemment est impossible. Pour ce type de système industriel les méthodes utilisées pour la supervision sont celles sans modèles. Deux techniques existent dans ce cas : supervision par tests statistiques et supervision par technique de l'intelligence artificielle.

#### 2.3.3.1. Surveillances avec tests statistiques

Les outils statistiques de détection de défaillances consistent à supposer que les signaux fournis par les capteurs possèdent certaines propriétés statistiques. On effectue alors quelques tests qui permettent de vérifier si ces propriétés sont présentes dans un échantillon des signaux mesurés. [MAH]

##### *a. Test de franchissement de seuils*

Son principe consiste à comparer ponctuellement les signaux avec des seuils préétablis, le franchissement de ce seuil par un des signaux capteurs génère une alarme. Ce type de méthode est très simple à mettre en œuvre mais ne permet pas d'établir un diagnostic de défaillance, cette méthode aussi est très sensible aux fausses alarmes.

##### *b. Test de variance*

On peut également calculer la variance d'un signal. Tant que cette variance se situe dans une bande située autour de sa valeur nominale, l'évolution du système est supposée normale.

##### *c. Test de moyenne*

Contrairement à la méthode de *Test de franchissement de seuil*, le test de comparaison est effectué sur la moyenne du signal contenu dans une fenêtre d'un ensemble de valeurs que sur une valeur ponctuelle.

#### 2.3.3.2. Surveillances avec méthodes d'intelligence artificielle

Ces méthodes se basent sur les techniques de l'Intelligence Artificielle (IA), En effet, l'Intelligence Artificielle permet de contourner les obstacles rencontrés par les méthodes classiques et d'une manière générale, l'Intelligence Artificielle, est relativement bien adaptée

aux problèmes de surveillance, telle que, elle est capable de traiter : une grande quantité d'informations, des données non homogènes (numériques/symboliques) et aussi des données incomplètes [ALA].

Nous allons présenter les méthodes de l'intelligence artificielle, les plus utilisées dans la supervision des systèmes industriels, dans section suivante.

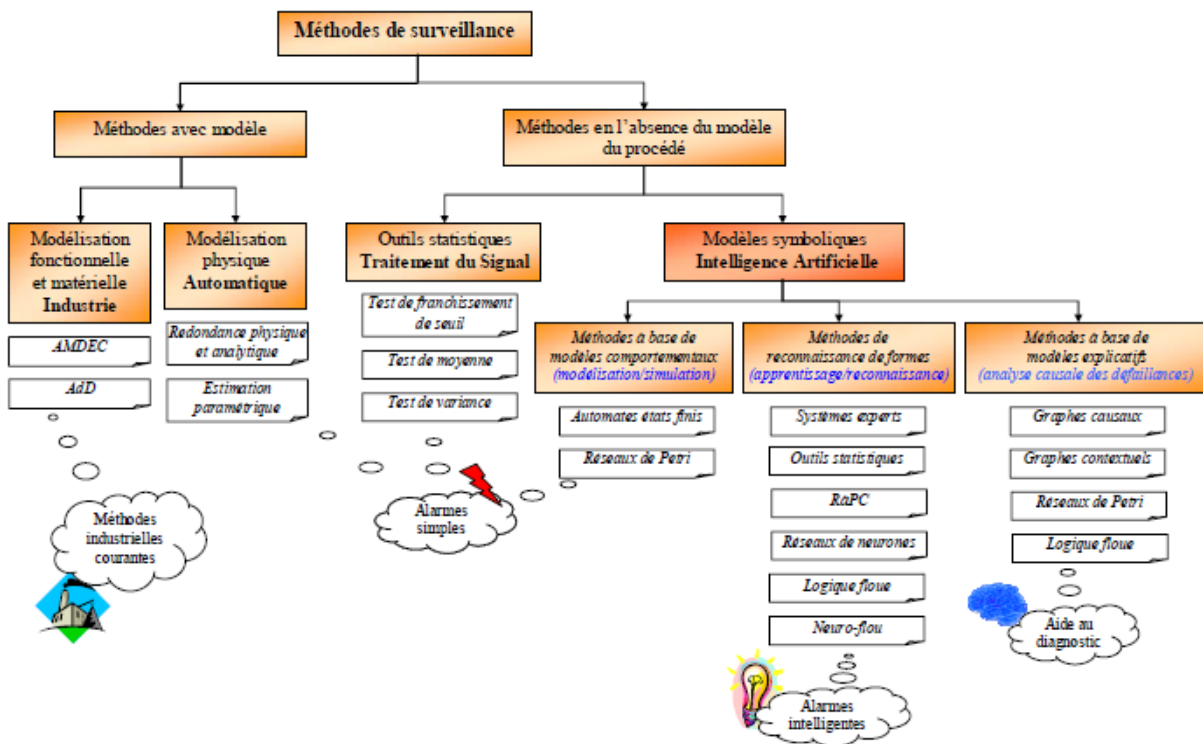


Fig.2.3. Classification des méthodes de surveillance [ZAM]

## 2.4. Conduite des systèmes de production

### 2.4.1. Définition

Selon POURCEL.C<sup>1</sup>, la conduite de la production est l'art de diriger les ressources mises à la disposition du système de production. La conduite doit permettre la réalisation des objectifs de la production dans les meilleures conditions et compte-tenu des aléas. Informés en permanence par le suivi de production sur la réalisation des objectifs, les responsables de la production vont devoir alors prendre des décisions pour corriger leurs actions en vue d'une meilleure atteinte de ces objectifs. [RIA]

<sup>1</sup>Claude POURCEL, "Systèmes automatisés de production", en 1987.

## **2.4.2. Positionnement dans la gestion de production manufacturière**

La gestion de production manufacturière se compose de cinq fonctions essentielles organisées en étapes hiérarchisées, chacun des niveaux ayant une capacité de réaction propre [DAM] :

### **2.4.2.1. Planification**

Ce niveau a une vision à long terme sur la production de l'entreprise : statistiques, études de marché lui permettent de définir un plan directeur de production, compromis entre les objectifs de marketing, financiers et de production. On se situe donc ici dans le niveau de décision tactique du système « entreprise » mais dans le niveau stratégique du système de production « atelier ».

### **2.4.2.2. Programmation**

Elle est chargée, à partir du plan directeur, d'établir un programme prévisionnel de production, à capacité infinie ou suivant une charge globale admissible par l'atelier. Celui-ci prend en compte les besoins bruts (commandes, délais demandés), les prévisions et calcul des besoins nets en fonction des stocks et des encours. La programmation peut elle aussi être considérée comme une tâche du niveau stratégique car elle consiste essentiellement à «traduire» les objectifs de la planification et reste dans une logique de définition du « quoi ? » de la production.

### **2.4.2.3. Ordonnancement**

Son objectif est le respect du plan prévisionnel (délais, quantité, qualité, etc.). Il élabore un planning détaillé cherchant à optimiser l'utilisation des moyens de production en termes de charge, d'encours, de contraintes de succession ou technologiques. Il fournit un calendrier d'organisation du travail pour l'atelier (dates de début et de fin de chaque tâche), par ressource ou groupe de ressources. On se rapproche ici de la définition du « comment » de la production, et donc du niveau de décision tactique.

### **2.4.2.4. Conduite**

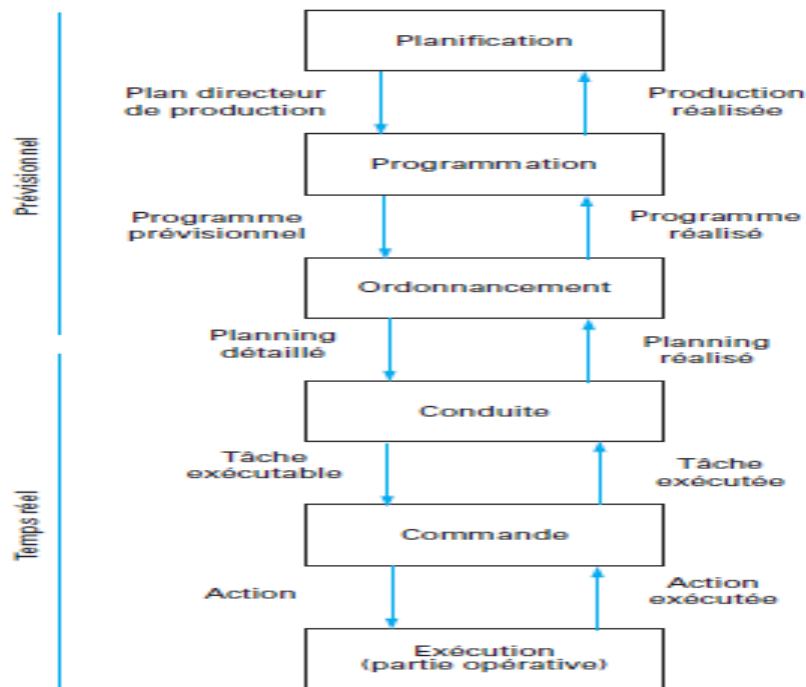
La conduite est chargée de réaliser la production prévue. Elle doit régler tous les problèmes non résolus par le niveau prévisionnel (charges ou contraintes locales). Elle doit aussi prendre en compte l'ensemble des contraintes de fabrication (contrôle de la qualité,



arrêts liés à la maintenance, niveau de qualification du personnel, etc.), toutes présentes à ce niveau, et réagir aux aléas pour que la production prévue soit possible. La conduite est donc typiquement une tâche du niveau opérationnel car les problèmes d'affectation de ressources devront être résolus en temps réel (réponses aux questions quand et avec quoi produire).

#### 2.4.2.5. Commande

Ce niveau, directement en relation avec le système de production, a un rôle d'interface et d'interpréteur. Sa tâche essentielle est de traduire un ordre en une séquence d'instructions compréhensibles par la partie opérative. Il est concrétisé soit par un opérateur pilotant une machine et assurant le suivi de réalisation, soit par un automatisme capable d'interpréter un ordre et de renseigner la conduite sur l'état d'avancement de celui-ci.



**Fig.2.4** positionnement de la conduite dans la gestion de production [CLA]

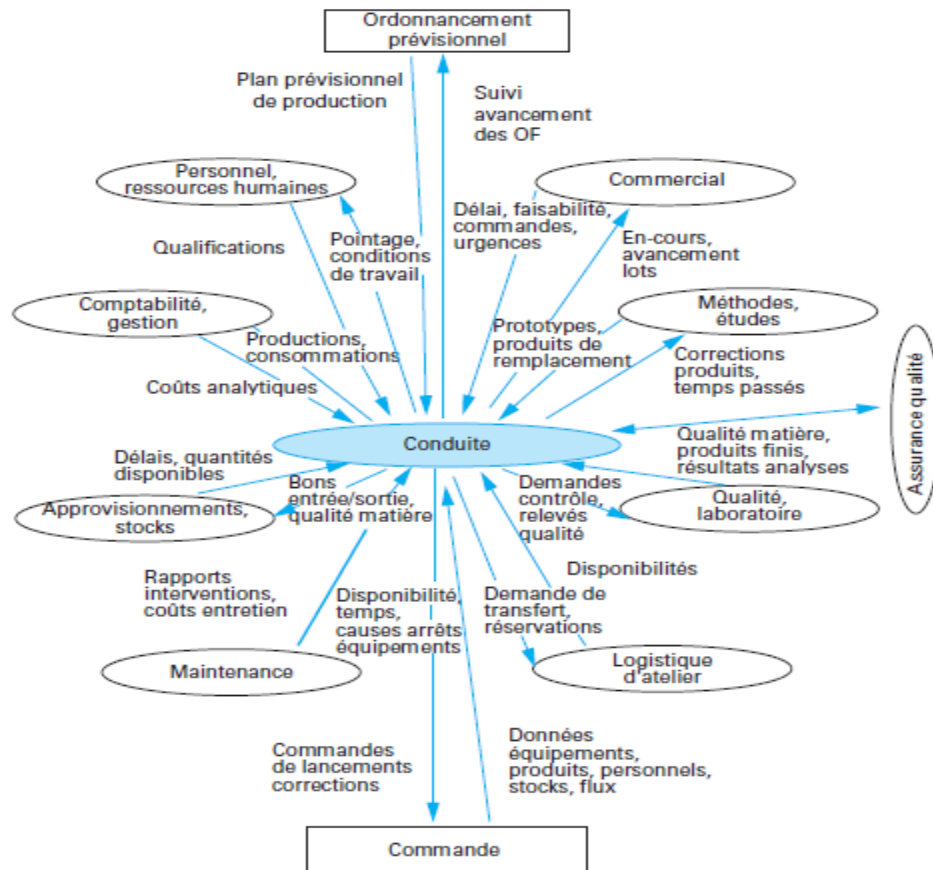


Fig.2.5. Environnement de la conduite [CLA]

### 2.4.3. Les fonctions de la conduite

Nous avons défini le cadre dans lequel peut évoluer une fonction conduite temps réel d'atelier. Sa mission est avant tout la bonne réalisation du programme prévisionnel. Elle doit pour cela intégrer l'ensemble des contraintes atelier, de manière à commander en conséquence les moyens de production. [CLA]

On peut distinguer les trois grandes classes de fonctions à assurer :

- **Le suivi** : consiste à suivre l'état des équipements, des stocks, des transformations, par l'utilisation de synoptiques hiérarchisés de l'installation, de vues d'alarmes, de résultats de production ;
- **Le contrôle** : comprend le contrôle des cohérences des ordres prévisionnelles à réaliser, la gestion des alarmes et la réaction aux aléas de production ;
- **Le pilotage** : comprend la définition des modes d'exploitation des équipements (modes de marche, paramétrages), le lancement de fabrication, la préparation (elle est chargée de l'élaboration finale et de la transmission des ordres au niveau d'exécution) ;

Et un certain nombre de fonctions annexes qui sont essentiellement des fonctions :

- de **communication** : avec la fonction ordonnancement (récupération des ordres prévisionnels et transmission du suivi des ordres), avec la commande du système de production (envoi des ordres de lancement, de contrôle et réception du suivi temps réel), avec les autres fonctions industrielles (demande d'intervention, d'analyses, prise en compte d'ordres urgents, des disponibilités transferts,...) ;
- de **gestion de données** : concernant les produits, les ressources, les tâches à exécuter ;
- **historiques et statistiques** : statistiques des pannes équipements, activité par équipe, temps passés par lot, par produit, ...

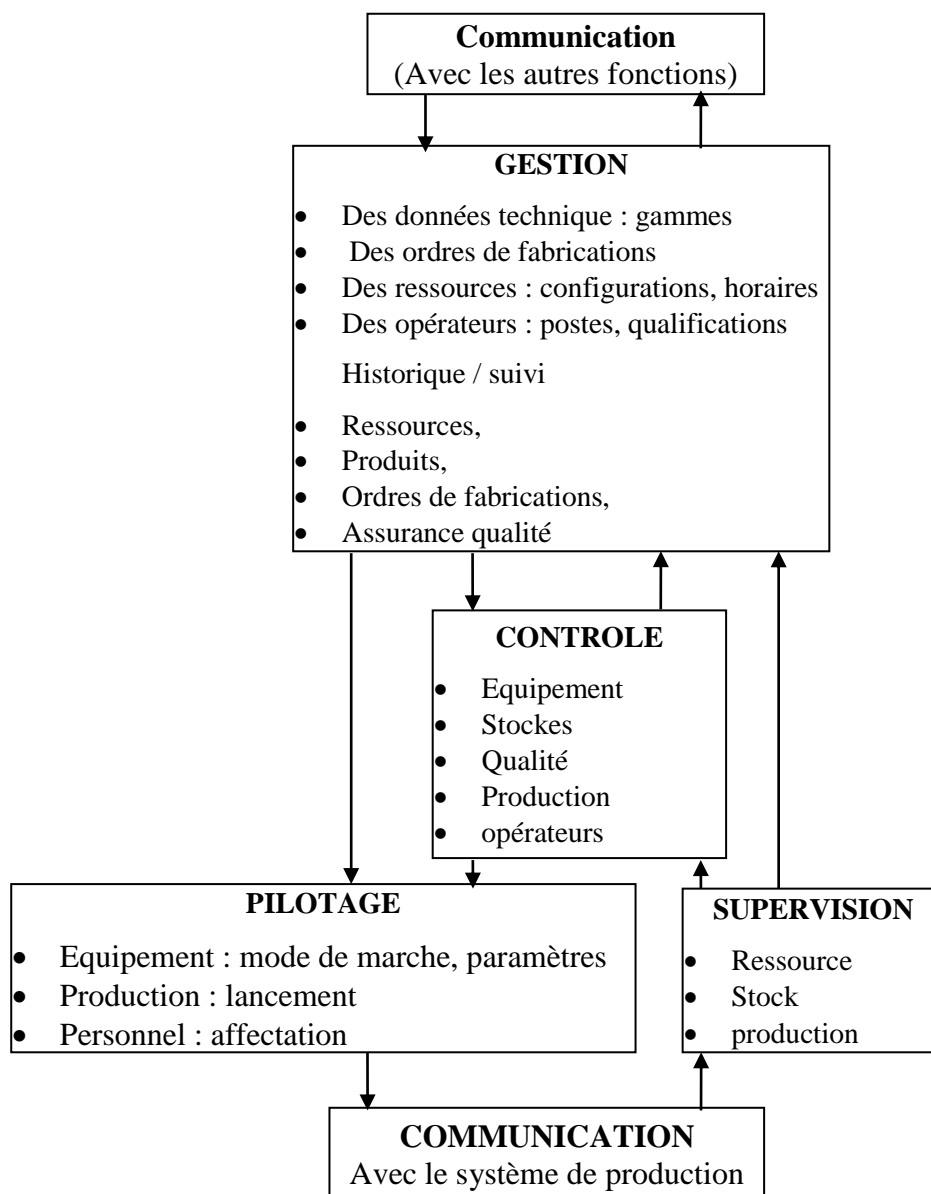


Fig.2.6. : Principales fonctions de la conduite [CLA]

#### 2.4.4. Problématique des systèmes de conduite

Nous abordons ici les problématiques d'exploitation et d'analyse des systèmes de conduite. [DAM]

##### 2.4.4.1. Exploitation

La problématique de l'exploitation des systèmes de conduite peut être vue comme une particularisation des problèmes de coopération homme-machine.

Dans le domaine de la coopération homme-machine, on définit la **coopération horizontale** comme un moyen de réguler l'activité humaine de supervision au moyen d'un partage des tâches entre l'opérateur et un outil d'aide à la décision ou à l'action. Dans la **coopération verticale**, l'outil ne fait que proposer des conseils à l'opérateur qui reste le décideur final.

Toute la difficulté de l'exploitation du système de conduite réside dans la répartition des tâches entre l'opérateur humain et la partie matérielle du système. Certains auteurs préconisent de maintenir en permanence l'opérateur humain dans la boucle de conduite, en régulant sa charge de travail.

##### 2.4.4.2. Analyse

L'analyse d'un système de conduite fait appel, au moins au même titre que sa conception et que son exploitation, à des processus d'interprétation très complexes et très variables.

Si on se base sur des critères exclusivement quantitatifs, la difficulté de l'analyse est due aux distances causales et temporelles qui séparent la mise en œuvre du système de conduite et les performances qui en résultent.

Sur un plan plus qualitatif, l'analyse du système de conduite repose sur la valeur qu'il apporte aux différents acteurs du système de production : meilleur retour d'information sur les actions de chacun, facilitation des tâches de suivi et de diagnostic, meilleure organisation de l'atelier, etc.

## 2.5. Les techniques de l'intelligence artificielle utilisées dans la supervision

### 2.5.1. Les systèmes experts

Un système expert est un logiciel qui reproduit le comportement d'un expert humain accomplissant une tâche intellectuelle dans un domaine précis. Il est composé de deux parties indépendantes :

- une *base de connaissances*, elle-même composée d'une base de règles qui modélise la connaissance du domaine considéré et d'une base de faits qui contient les informations concernant le cas que l'on est en train de traiter.
- un *moteur d'inférences* capable de raisonner à partir des informations contenues dans la base de connaissances, de faire des déductions, etc.

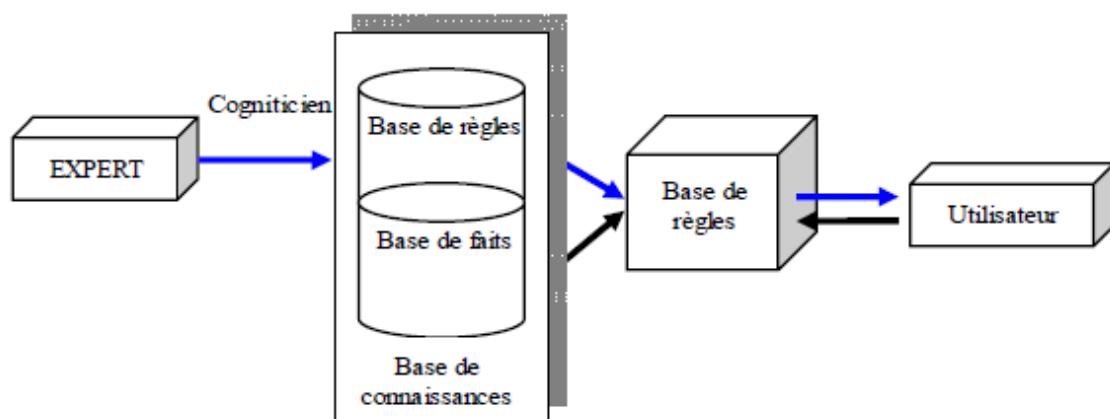


Fig.2.7. Schéma d'un système expert [RAC]

Le rôle du *cogniticien* est de soutirer leurs connaissances aux experts du domaine et de traduire ces connaissances dans un formalisme se prêtant à un traitement automatique, c'est-à-dire en règles. Ces deux tâches sont aussi délicates l'une que l'autre. En effet, un expert est la plupart du temps inconscient de la majeure partie de son savoir, et s'il arrive à en exprimer une partie, c'est souvent sous une forme difficile à formaliser. [RAC][ZAM]

### 2.5.2. Raisonnement à partir de cas

Le raisonnement à partir de cas - RàPC (Case Based Reasoning – CBR) est une approche récente pour résoudre et apprendre des problèmes. Il correspond à la résolution d'un nouveau problème en se rappelant une situation précédente similaire et en réutilisant les informations

et les connaissances de cette situation. Il constitue donc une méthodologie pour modéliser le raisonnement et la pensée humaine ou pour développer des systèmes intelligents.

Le raisonnement à partir de cas recouvre un ensemble de méthodes de résolution de problèmes à partir d'expériences passées. Le principe de fonctionnement de la méthode consiste à stocker les expériences précédentes (cas) dans une mémoire afin de résoudre un nouveau problème :

- retrouver l'expérience similaire au nouveau problème dans la mémoire,
- réutiliser cette expérience dans le contexte de la nouvelle situation (complètement, partiellement ou en l'adaptant selon les différences),
- mémoriser la nouvelle expérience dans la mémoire (apprentissage).

Le RàPC constitue donc un processus cyclique pour la résolution de problèmes. Dans ce processus, on identifie les phases suivantes :

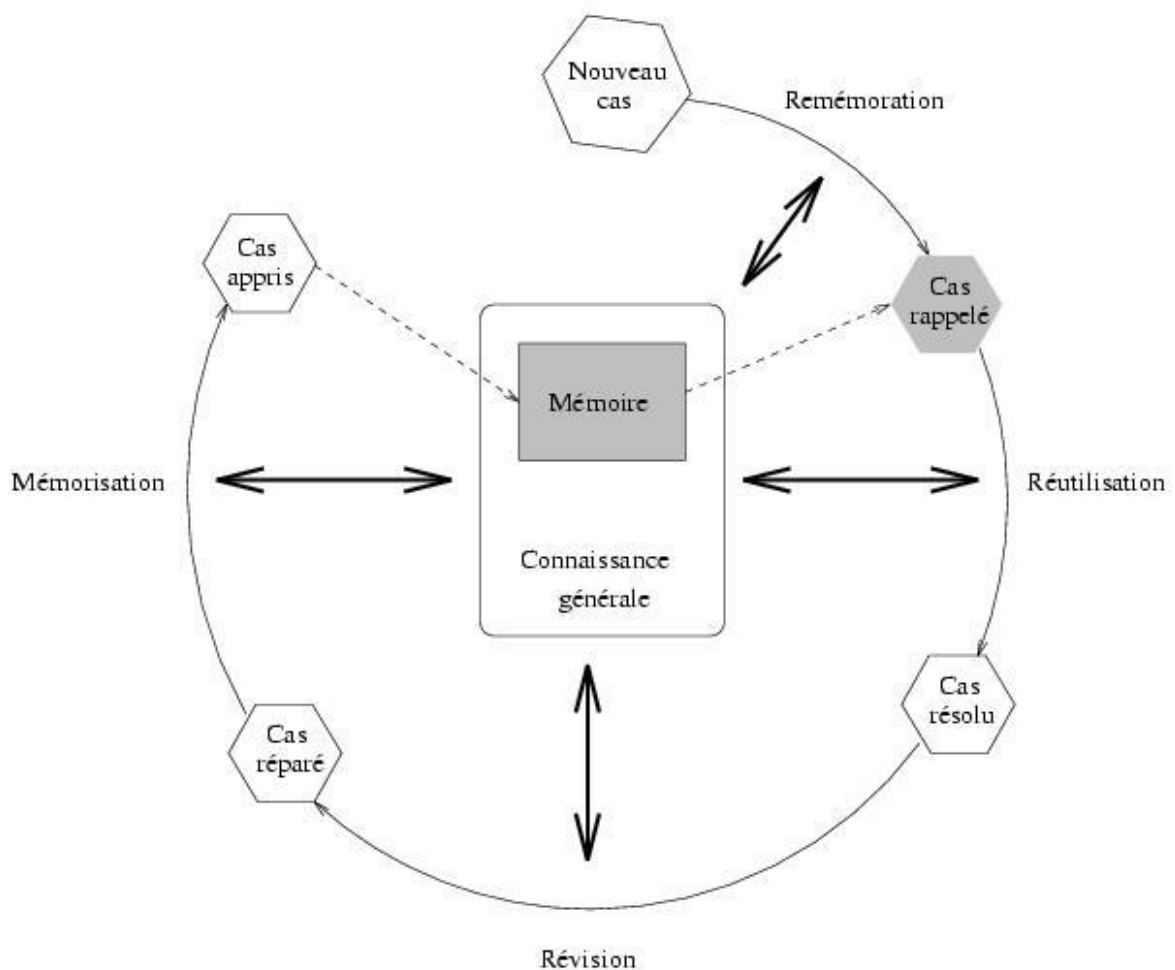


Fig.2.8. Cycle du raisonnement à partir de cas [RAC]

Un nouveau problème ou cas est résolu en se rappelant (remémoration) des cas similaires déjà pré analysés et stockés dans la mémoire. La solution trouvée est ensuite adaptée (réutilisée) au nouveau problème. Le nouveau cas est ensuite révisé ou réparé (par l'expert ou par l'utilisation de la connaissance générale du système). Ce nouveau cas peut aussi être appris au système (mémorisation) comme nouvelle expérience. [RAC][ZAM]

Le RàPC s'articule donc autour d'une base de connaissance qui contient deux parties :

- la connaissance générale, souvent représentée par une base de règles et qui peut intervenir dans toutes les phases du RàPC,
- la mémoire, qui contient les cas et les structures nécessaires qui constituent l'expérience du système; elle est utilisée lors des phases de remémoration et de mémorisation.

Un système de RàPC se caractérise donc par : la structure des cas utilisés, la structure de la base de cas (indexation des cas) et l'organisation de la mémoire.

Le RàPC, présente également les avantages suivants :

- réduit les efforts d'acquisition de connaissances,
- est relativement facile à maintenir,
- l'efficacité de la résolution des problèmes augmente à mesure qu'il est utilisé,
- permet d'utiliser des données existantes comme des bases de données,
- peut s'adapter aux changements de son environnement.

Nous allons voir le RàPC en détail dans le chapitre 3.

### 2.5.3. Les réseaux neuronaux

Les réseaux de neurones sont des outils capables d'effectuer des opérations de perception, classification et prédiction. Leur fonctionnement est basé sur les principes de fonctionnement des neurones biologiques. Leur principal avantage par rapport aux autres outils est leur capacité d'apprentissage et de généralisation de leurs connaissances à des entrées inconnues.

Leur utilisation est principalement guidée par leurs propriétés suivantes:

- capacité d'apprentissage,
- capacité de généralisation,
- parallélisme dans le traitement (rapidité de traitement)

- adaptés aux non-linéarités des systèmes,

Chaque neurone réalise une fonction simple (fonction linéaire, linéaire par morceaux, fonction à seuil, sigmoïde, gaussienne), les propriétés globales de l'outil émergent de sa structure. Toutes les caractéristiques des réseaux de neurones sont exploitées à travers la propriété principale des réseaux de neurone qu'est l'apprentissage. En effet, les mécanismes d'apprentissage sont à l'origine des capacités de résolution de problèmes des réseaux neuronaux. Cet apprentissage permet de configurer les poids synaptiques ainsi que les fonctions d'activation afin d'adopter un comportement désiré. Deux types d'apprentissages sont utilisés : l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé. [RAC][IKH]

**Apprentissage supervisé :** Permet de déterminer les poids synaptiques à partir d'exemples étiquetés auxquels un expert a associé des réponses du réseau. Les paramètres du réseau sont donc modifiés de manière à minimiser l'erreur entre la sortie cible (fournie par l'expert) et la sortie réelle du réseau.

**Apprentissage non supervisé :** Les données fournies en entrée ne contiennent pas d'information sur la sortie désirée. L'apprentissage est réalisé à l'aide de règles qui modifient les paramètres du réseau en fonction des exemples fournis en entrée.

La figure suivante montre l'architecture d'un réseau de neurones

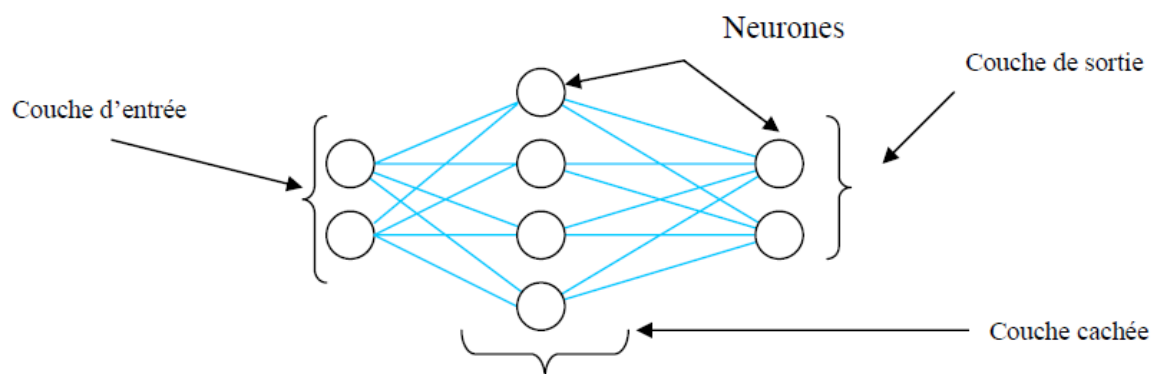


Fig.2.9. Architecture d'un réseau de neurones [RAC]

#### 2.5.4. Reconnaissance de formes par logique floue

Dans tous les ensembles, la notion d'appartenance à un caractère très important, ce qui diffère entre des ensembles classiques et dans les ensembles flous, c'est que dans les ensembles classiques la notion est de type tout ou rien, c'est-à-dire qu'un élément appartient ou n'appartient pas, la notion floue est d'un type différent, par un assouplissement de la notion d'appartenance, la logique floue permet de traiter des informations incertaines, ou bien de classer des informations dont les frontières sont mal définies etc.



L'idée de base de la logique floue, est de mettre en œuvre un système dit système d'inférence floue, qui est capable d'imiter les prises de décisions de l'opérateur humain et ce, à partir d'un ensemble de règles conçues sur la base des connaissances de cet opérateur. [IKH]

### 2.5.5. Méthodes à base de modèles explicatifs

Ce type de catégorie de méthode se base sur la formulation des relations causes et effets, pour ce faire, des connaissances approfondies sur le système sont requises. Ces méthodes se caractérisent donc par l'approche abductive qui consiste à trouver la cause d'une défaillance à partir de ses symptômes observables et ceci en remontant dans la chaîne, parmi les méthodes qui utilisent ce type de raisonnement on retrouve les graphes causaux, les graphes contextuels et aussi les techniques de logique floue et de réseaux de pétri [RAC].

## 2.6. La supervision des systèmes photovoltaïques

Dans le domaine du photovoltaïque, les recherches sont orientées au dimensionnement des systèmes photovoltaïques, le diagnostic, détection des défauts des générateurs photovoltaïques et suivi du point de puissance maximale.

La plupart des travaux ont traité ces problèmes avec des méthodes de l'IA parce qu'ils donnent les meilleurs résultats. Les techniques les plus utilisées sont : la Logique floue, les réseaux de neurones, les algorithmes génétiques.

### 2.6.1. Diagnostic et détection des défauts de générateurs photovoltaïques

La détection des défauts est une tâche cruciale pour augmenter la fiabilité, l'efficacité et la sécurité des systèmes photovoltaïques, la détection et l'élimination manuelle des fautes dans les systèmes photovoltaïques est très chère, et dans certains cas impossibles comme les systèmes photovoltaïques des satellites, en conséquence, les techniques de détection automatique des défauts sont nécessaires [XUE]. Plusieurs méthodes sont utilisées, à cause du caractère non linéaire du système photovoltaïque, certains défauts sont difficiles à détecter par les dispositifs de protection conventionnelle. ZHAO *et al* ont proposé dans leurs travaux un modèle à base de graphe à apprentissage semi-supervisé pour la détection de défauts. Le modèle proposé ne détecte pas seulement les défauts, mais aussi identifie leur type possible [ZHO]. Dans un autre travail, Zhao *et al* ont développé un modèle d'arbre de décision pour détecter et classer les défauts d'un champ photovoltaïque, ce modèle analyse la caractéristique courant-tension (I-V) pour faire la détection [YZH]. Les techniques de l'intelligence artificielle sont utilisées aussi pour la détection des défauts, Zhihua *et al* ont utilisé les réseaux

de neurones dans leur travail pour la détection des défauts. Dans un premier temps, la température du module détermine l'occurrence de défauts dans un module photovoltaïque, ensuite le neurone artificiel est utilisé pour faire le diagnostic et définir le type de défaut. Les paramètres d'entrées du neurone sont : la température, le courant et la tension, tandis que la sortie est le résultat de détection [ZHI].

### 2.6.2. Dimensionnement des systèmes photovoltaïques

Dans la conception de systèmes de production d'énergie photovoltaïque, le dimensionnement optimal est une tâche importante et difficile. Les méthodes classiques (empirique, analytique, numérique, hybride, etc.) pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques ont été utilisées généralement pour un emplacement où les données météorologiques nécessaires (irradiation, température, humidité, indice de clarté, vitesse du vent, etc.) et de l'information concernant le site où le système PV sera mis en œuvre sont disponibles. Dans ce cas, ces méthodes présentent une bonne solution pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques, en particulier la méthode hybride. [ADE] Cependant, ces techniques ne pouvaient pas être utilisées pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques dans les zones isolées, où les données nécessaires ne sont pas disponibles. En outre, la majorité des méthodes ci-dessus ont besoin de données météorologiques à long terme tels que l'irradiation solaire totale, la température de l'air, la vitesse du vent pour son fonctionnement. Ainsi, lorsque les données météorologiques pertinentes ne sont pas disponibles, ces méthodes ne peuvent pas être utilisées, en particulier dans les zones isolées. Afin de remédier à cette situation, les méthodes qui sont plus récentes ont été développées pour le dimensionnement des paramètres pour les systèmes PV sur la base de techniques d'intelligence artificielle (IA). Différentes techniques d'IA sont utilisées pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Mellit et al ont développé un modèle en réseaux de neurones pour l'estimation des paramètres de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome. Les entrées du modèle sont la longitude et l'attitude du site, tandis que les sorties sont deux paramètres de dimensionnement hybride (f, u). Ces paramètres permettent aux concepteurs de systèmes PV de déterminer le nombre de modules photovoltaïques et de la capacité de stockage des batteries nécessaires pour satisfaire une consommation donnée [MEL]. Hernadeza et al. ont présenté un algorithme génétique visant à déterminer la répartition optimale et le dimensionnement des systèmes photovoltaïques connectés au réseau. La solution optimale est atteinte par l'approche d'optimisation multi-objective. Selon les auteurs, les résultats obtenus avec la méthode proposée démontrent son

applicabilité. La méthode a été utilisée pour tester des solutions d'allocation de système connecté au réseau alternatif [HER].

### 2.6.3. Suivi du point de puissance maximale

La technique de suivi du point de puissance maximale (MPPT) est une exigence importante dans l'amélioration de l'efficacité de l'extraction de puissance des modules PV. L'objectif principal de toutes les techniques de MPPT est l'extraction de la vraie puissance maximale du module PV à toute condition atmosphérique. Toutefois, dans les conditions de changement climatique rapide et d'ombrage partiel, les techniques classiques ne sont pas arrivées à suivre le vrai point de puissance maximale. Pour cette raison, les méthodes d'intelligence artificielle ont été développées avec la capacité de chercher le vrai point de puissance maximale avec une bonne vitesse de convergence [NUR]. Patchara Prakriti et al. ont proposé une méthode de suivi des points puissance maximale en utilisant un contrôleur flou adaptatif pour les systèmes PV connectés au réseau. De la simulation et des résultats expérimentaux, le contrôleur flou adaptatif peut fournir plus de puissance que le contrôleur classique flou [NOP]. Bahgat et al ont présenté un algorithme de suivi du point de puissance maximale pour les systèmes photovoltaïques utilisant des réseaux neuronaux. Selon les auteurs, les résultats expérimentaux ont montré que l'installation photovoltaïque avec MPPT écoute toujours le point de puissance maximale du module PV dans diverses conditions de fonctionnement. Le MPPT transmet environ 97% de la puissance maximale réelle générée par le module photovoltaïque. [BAH].

### 2.6.4. Problématique de conduite des systèmes photovoltaïque

Dans le fonctionnement normal d'un générateur photovoltaïque, l'énergie produite soit stockée dans des batteries, injectée dans le réseau ou consommée directement. En cas de fonctionnement anormal du générateur, l'intervention de l'opérateur humain est requise. Long Bun, Ye Zhao et al, Zhihua ont montré que la plupart des défauts de générateur sont détectables en ligne (automatiquement) utilisant différentes méthodes (classique ou d'intelligence artificielles). Nous avons présenté précédemment dans la partie 2.6.1. des contributions qui ont traité la problématique de détection des défauts du générateur photovoltaïque, mais la problématique est quelle est l'action adéquate en cas d'apparition de ce dernier. Les champs photovoltaïques sont isolés, l'intervention de l'opérateur peut être en retard. Nous avons proposé un système de conduite intelligent qui permet de réagir automatiquement, si possible, sur le système ou de proposer à l'opérateur les actions

appropriés à remplir en cas de présence de défaut ou d'une dégradation, le système de conduite va reconfigurer le système en tenant compte des objectifs à atteindre et l'état actuel du générateur.

## **2.7. Conclusion**

La supervision est une tâche cruciale dans les systèmes de production, nous avons présenté dans la première partie de ce chapitre la supervision ainsi que la décomposition de la supervision et les techniques de supervision avec modèle et sans modèle. Dans notre étude nous avons concentré notamment sur la conduite. L'application des méthodes d'intelligence artificielle dans la supervision est incontournable, elle permet d'obtenir les meilleurs résultats spécialement en cas de non présence du modèle.

Le dimensionnement du système photovoltaïque permet d'optimiser les ressources de construction de générateur. Après la construction du système, il faut assurer sa continuité de production en performance maximale et sa disponibilité. Dans ce cadre notre proposition intervient avec le développement d'un système de conduite intelligent.

## Chapitre 3 : La conduite utilisant le raisonnement à partir de cas

### 3.1. Introduction

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les différentes fonctions de la conduite, essentiellement : la supervision, le contrôle et le pilotage. La conduite est une activité décisionnelle, elle se diffère du pilotage de la capacité de prendre une décision. Le système de pilotage devient décideur si, vu de l'extérieur, ces entrées ne sont pas suffisantes pour déterminer sa sortie, ce qui devient le cas si le système de pilotage a été conçu pour présenter une certaine liberté pour fixer lui-même son signal de commande [DAM]. L'automatisation de la tâche de conduite, prend une décision même les informations nécessaires sont insuffisantes, et par l'utilisation des méthodes de l'intelligence artificielle.

### 3.2. Modèle structurel de la conduite

La conduite est l'intégration de la capacité de décision en faisant apparaître le système de pilotage comme un centre capable de décision. Cette généralisation se traduit également par l'apparition d'un centre d'évaluation et des moyens d'interprétation. La commande du système opérant correspond alors à l'application de la décision prise. La figure 3.1 représente la structure d'un système de conduite.

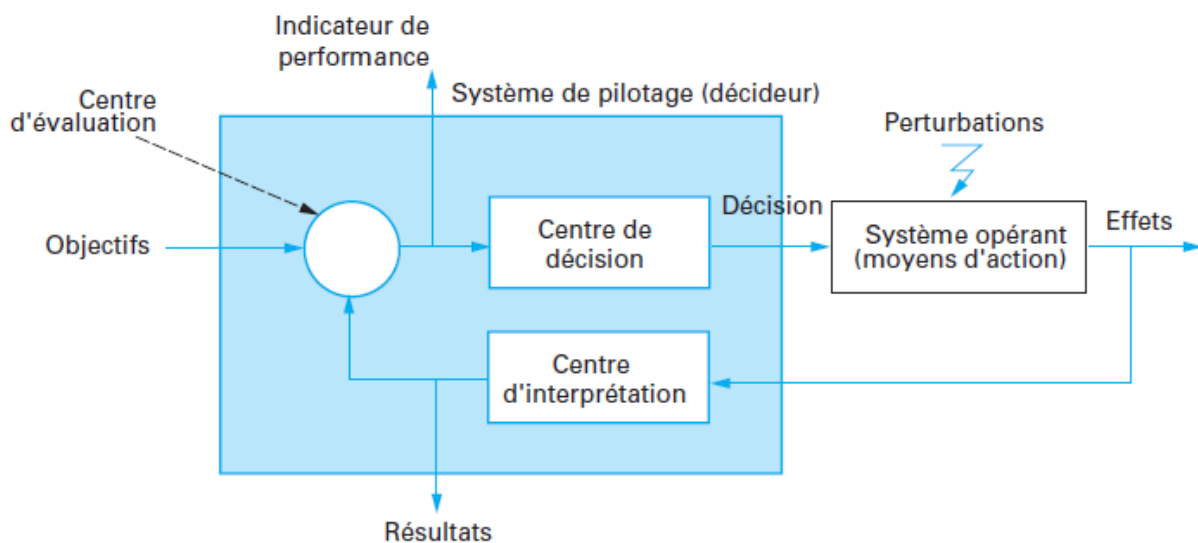


Fig.3.1. Modèle structurel de la conduite [DAM]

Nous détaillons les trois sous-systèmes qui composent de manière générale d'un système de pilotage décideur.

### **3.2.1. Centre d'interprétation**

Les entrées du centre d'interprétation sont les effets du système opérant ou plutôt les données représentatives de ces effets. Dans une procédure de diagnostic classique, on retrouve à ce niveau les phases d'acquisition (ou mesure) et de perception du signal qui consistent respectivement à fournir un ensemble d'observations tolérantes aux défauts du système de mesure, et à fournir les indices ou paramètres indicateurs interprétables de la performance à l'origine des signaux observés. Mais la notion seule de mesure est réductrice car elle ne peut suffire à l'élaboration d'un diagnostic pertinent. Elle doit donc être complétée par une appréciation, une interprétation par rapport à une vision globale ou cadre de référence. Ainsi, certains considèrent aujourd'hui que la pertinence d'une évaluation tient bien plus à la qualité de l'interprétation qu'à l'exactitude et à la précision des calculs [DAM].

Les sorties du centre d'interprétation sont les résultats, c'est-à-dire des informations objectivées sur les effets des actions du système opérant. Ainsi, un même évènement peut générer plusieurs résultats différents tant dans leur forme que dans leur signification.

### **3.2.2. Centre d'évaluation**

L'évaluation consiste à assigner une valeur bonne ou mauvaise, meilleure ou pire, à une chose ou à un évènement (en l'occurrence, aux résultats relevés). Ce n'est donc pas simplement mesurer la valeur en quelques sortes intrinsèques des objets. C'est établir un ordre de préférence. Cette fonction d'évaluation doit donc générer des informations suffisamment pertinentes pour prendre les bonnes décisions, c'est-à-dire nécessaires et suffisantes au regard des objectifs recherchés. Ces informations objectivées portent le nom d'indicateurs de performance, c'est-à-dire une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité et/ou l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan ou un objectif, déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise. On entend ici par efficacité le niveau d'adéquation des résultats obtenus aux objectifs recherchés, et par efficience le niveau d'adéquation des moyens mis en œuvre aux résultats obtenus [DAM].

### 3.2.3. Centre de décision

Les entrées du centre de décision sont les indicateurs de performances. Les sorties sont les décisions prises et appliquées. Ce système a pour fonction de prendre les décisions qui portent sur les modalités de commande du système opérant (ou moyen d'action) soit en terme de directives globales et plans d'action (dans le domaine qui nous intéresse, cas de la planification, de la programmation, de l'ordonnancement et de la conduite), soit en terme de signaux directement interprétables par le moyen d'action (domaine de la commande).

### 3.2.4. Utilisation du raisonnement à partir de cas dans la conduite

Les différentes composantes de la conduite se coopèrent par échange d'informations, la figure 3.1 montre que les sorties d'un centre sont les entrées de l'autre, bien qu'il existe d'autres informations qui sont récupérées à partir du système opérant. On peut dire que le centre de décision a un rôle crucial dans la conduite, car ces actions effectuent directement des changements sur le système. Alors, l'utilisation du RàPC dans la conduite consiste à l'utiliser dans le centre de décision, trouver la bonne décision pour la situation actuelle en fonction de l'état du système et les objectifs à partir des décisions des anciennes situations similaires.

## 3.3. Le raisonnement à partir de cas

Le raisonnement à partir de cas est une méthodologie utilisée pour résoudre des problèmes, ces problèmes peuvent être de différentes natures. Bien que cette méthodologie n'est pas recommandée pour tous les problèmes. Le procès qui compose le raisonnement à partir des cas peut être considéré comme le reflet d'un type particulier de raisonnement humain. Dans de nombreuses situations, les problèmes que rencontrent les êtres humains sont résolus avec un équivalent humain du RàPC. Quand une personne rencontre une nouvelle situation ou un problème, il ou elle se réfère souvent à une expérience passée d'un problème similaire. Cette expérience précédente peut être celle qu'ils ont eu ou une autre personne qui a eu cette expérience. Si l'expérience provient d'une autre personne, le cas aura été ajouté à la mémoire (humaine) de raisonneur soit par voie orale ou un compte rendu écrit de cette expérience [MIC] [SIM].

L'idée de RàPC est émouvante car elle est similaire à un comportement de résolution de problème humain. Les gens se basent sur l'expérience passée, tout en résolvant des

problèmes nouveaux. Cette approche est à la fois pratique et efficace. Souvent, elle permet d'éviter l'analyse approfondie du domaine de problème. Ceci conduit à l'avantage, que RàPC peut être basée sur la connaissance peu profonde et ne nécessite pas des efforts importants dans l'ingénierie de connaissances [SIM].

### 3.3.1. Définition d'un cas

Un cas est une expérience enregistrée qu'était produite dans le passé, tels que "Rappelez-vous, l'année passée en Tunisie, nous avons eu un problème similaire avec notre voiture. L'allusion dont nous a donné le mécanisme a plutôt bien fonctionné. Nous avons eu ce problème assez souvent; et notre technique habituelle pour fixer le problème a toujours travaillé en quelque sorte ". De telles expériences sont utilisées pour aider à résoudre les futurs problèmes ou prendre des futures décisions [SIM] [MIC].

#### 3.3.1.1. Les parties d'un cas

RàPC utilise les cas pour résoudre les problèmes, par conséquent, il doit y avoir quelque chose dans l'expérience qui parle d'un problème et sa solution. Dans une vue simple, RàPC divise une expérience en deux parties:

- Une partie du problème (ou la description d'une situation-problème).
- Une partie de la solution qui décrit la façon dont on a réagi.

Souvent, on restreint RàPC à des solutions qui ont été couronnées de succès, mais qui est loin d'être nécessaire ou appropriée. Une solution échouée est également un élément important de renseignements qui précise ce que l'on doit éviter. La coexistence de ces deux expériences réussie et échouée conduit à la définition suivante [MIC].

- ✓ Les expériences positives (cas) ; mettre en œuvre des solutions efficaces et aboutir à un conseil: Refais-le!
- ✓ des expériences négatives (cas) ; mettre en œuvre des solutions qui ont échoué et aboutir à un conseil: Évitez cela!

Les cas négatifs apparaissent souvent dans le contexte de prise de décision où on doit choisir entre différentes alternatives ou lorsque des conseils doivent être données. Les cas négatifs doivent être distingués des cas qui contiennent des erreurs [MIC].



### 3.3.2. Représentation des cas

La Représentation des cas est une tâche difficile dans RàPC. D'une part, une représentation de cas doit être suffisamment expressive pour les utilisateurs pour décrire un cas précis. D'autre part, le système RàPC doit raisonner avec les cas utilisant l'ordinateur. La représentation des cas est aussi étroitement liée à la décision de quelles informations doivent être représentées dans le système RàPC. Leur choix dépend du contexte de l'application, le problème à résoudre, la tâche à accomplir, et la classe d'utilisateurs. Souvent, les connaissances nécessaires pour être représentées sont beaucoup plus que le problème et sa solution. Il est utile d'inclure quelque chose sur le contexte et comment et où les solutions sont utilisées. Les cas peuvent être représentés dans une variété de formes, telles que : vecteur d'attributs, texte, images et bien d'autres formes. Nous avons concentré, dans la suite de notre travail, sur la représentation par vecteur d'attributs. [MIC][SIM]

#### 3.3.2.1. Représentation par vecteur d'attributs

La représentation utilisant des attributs est simple et très utile. En principe, les attributs sont des fragments de la logique des prédicats. Ils sont beaucoup plus simples et plus faciles à manipuler et pour de nombreuses applications ils sont suffisants [MIC].

Supposons que nous avons deux couleurs, rouge et bleue, chacune représentée par un prédicat pour objet 'o'. Si 'o' est rouge, alors le prédicat Rouge (a) est vrai. Cette représentation devient plutôt lourde si nous avons beaucoup de couleurs. Dans une représentation vecteur d'attributs que nous pouvons introduire, un attribut couleur qui a un ensemble de valeurs est constitué de toutes les couleurs.

Pour les définitions de base nous supposons un univers de discours U donné qui peut être un ensemble arbitraire.

- Un attribut A a un domaine (type), qui peut être un ensemble arbitraire.
- Un attribut A assigne à chaque  $a \in U$  un élément  $A(a) \in \text{domaine}(A)$
- Chaque objet de U est représenté par un vecteur  $(a_1, \dots, a_n)$  avec  $a_1 \in \text{domaine}(A_1), \dots, A_n \in \text{domaine}(A_n)$ .

Souvent, différents domaines contiennent uniquement des valeurs d'un type spécifique, par exemple, entiers, réels ou des caractères. On distingue les types standards prédéfinis et les types définis par l'utilisateur. Des exemples de types standards sont:

- types numériques tels qu'entier ou réel,
- types de symboles qui sont définis par une énumération de symboles,
- types textuels tels que les chaînes de caractères.

Les types définis par l'utilisateur sont généralement des sous-types de types standards. Par exemple:

- jours de la semaine, comme un sous-type de symboles ou de chaîne de caractère.
- Les petits entiers pour le nombre d'enfants dans une classe.
- grands entiers pour compter les habitants dans un pays.
- types spéciaux pour les objets multimédias, tels que des images, des vidéos ou des sons, ou des adresses électroniques.

La représentation peut être incomplète et deux situations peuvent se produire:

- ✓ manquante de valeur pour un attribut.
- ✓ Tout un attribut est manquant.

Id_cas : 01	
-Marque de voiture :	BMW
-Modèle de voiture :	X6
-Énergie	Diesel
-Puissance	350 hp
-Couleur	Marron-métallisé

**Fig.3.2** Exemple de représentation d'un cas

Pour la représentation de valeurs inconnues, on peut utiliser un symbole spécial «inconnu» ou "?" ou une variable typée. La valeur inconnue peut avoir différentes interprétations. Par exemple, on peut distinguer pour "inconnu" entre "ne se soucient pas", "malheureusement pas connu mais je voulais", et "en attente de la valeur". En tout cas, on sait qu'une certaine valeur est manquante. En outre, on peut utiliser les valeurs par défaut. Ce sont des valeurs qui sont prises normalement, mais pas toujours. Quelque part, elles sont entre connues et inconnues. Un exemple est l'attribut "nombre\_de\_roues" pour une voiture, où la

valeur par défaut est de 4. Si une autre valeur est donnée, alors la valeur par défaut est écrasée.

Le contraire des valeurs manquantes sont les valeurs redondantes. Ce sont des valeurs qui n'ont aucune influence sur la solution. La détection de la redondance est très utile. Dans l'exemple de la voiture, d'autres attributs comme "nombre\_de\_valves" sont redondants parce que le problème peut être résolu sans connaître leurs valeurs.

Le cas d'un attribut manquant est plus dangereux. Supposons, par exemple, un attribut important est absent pour une défaillance de la machine. Puis le diagnostic résultant peut être trompeur.

**Avantage:**

- ❖ Représentation simple et facile à comprendre.
- ❖ Simple à stocker, par exemple, dans une base de données.

**Inconvénients:**

- ❖ Représentation de l'information structurelle et relationnelle pas directement possible.
- ❖ Aucune information possible sur les séquences.

La représentation par vecteur d'attributs est un premier candidat, si la base de cas est grande et les cas sont décrits par seulement quelques attributs.

### 3.3.2.2. Représentation complexe

Afin de relier les différentes représentations et fonctions, nous avons besoin de quelques principes structurels qui sont partagés entre eux et permettent de découvrir des points communs et différents. Nous allons présenter seulement deux types de présentation complexe, qui sont des extensions de la représentation par vecteur d'attributs, orientée objet et arbre.

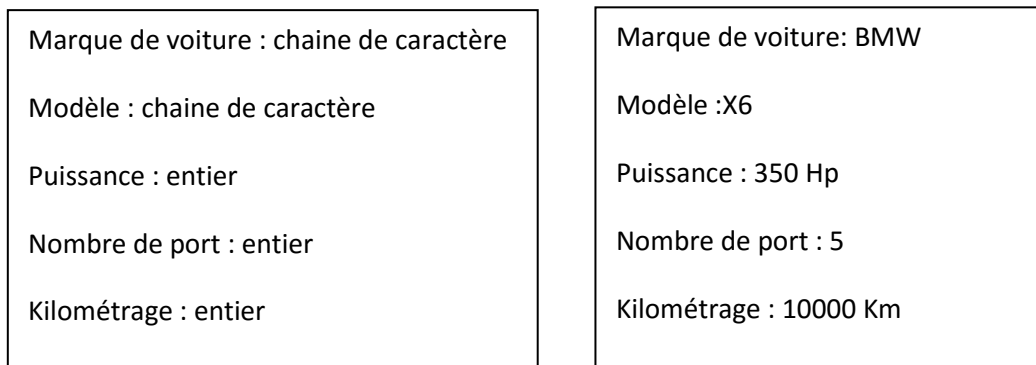
**Représentation orienté objet**

La représentation par vecteur d'attributs ne peut pas représenter facilement les relations entre les attributs et les hiérarchies d'attributs. La popularité de la représentation

orientée objet vient de sa capacité de représenter des données compactes et la réutilisabilité des logiciels associés. En fait, les attributs qui vont ensemble sont intégrés d'une façon qui suit la description d'un objet dans les langages de programmation. En outre, l'orienté objet est un moyen naturel pour représenter les relations, cette représentation de cas est plus facile à comprendre par les utilisateurs. [MIC][SIM].

Les grands principes sont les suivants:

- ✓ Un objet décrit une certaine entité du domaine d'intérêt par un ensemble fini de propriétés où chaque propriété atomique est représentée par un attribut.
- ✓ Une classe d'objets décrit la structure de ses objets en utilisant les attributs et leurs types.
- ✓ Une instance d'une classe est un objet ou une valeur est associée à chaque attribut.



**Fig.3.3.** exemple d'une classe et d'un objet

### Représentation par arbre

Dans les arbres, on peut organiser des ensembles d'objets ainsi que des parties d'un objet, comme ses attributs. La première possibilité est utile dans l'étape de retrouver du cycle de RàPC. Une restriction des représentations arborescentes peut être observée ici: Pas de relations entre objets qui ne sont pas reliés peuvent être représenté. Par exemple, les structures internes des nœuds ne peuvent être discutées si les nœuds sont formellement séparés dans l'arbre. Si un attribut A est une étiquette d'un nœud, alors pour chaque élément 'a' dans dom(A) il y a une arête au dessous de A. Ainsi, chaque chemin à partir du nœud supérieur à un nœud feuille décrit un vecteur d'attributs, et tous ces vecteurs sont représentés de

cette façon. L'obtention des valeurs d'attributs tend à être coûteuse. Dans le cas des arbres de décision, un attribut peut se produire dans des chemins différents. Afin de prendre une décision, il peut ne pas être toujours nécessaire d'utiliser tous les chemins. Ainsi, on peut raccourcir l'arbre dans le sens qu'on arrête de descendre à chaque fois que la décision est prise. Par conséquent, on est intéressé à trouver de petits arbres; ceci est un sujet dans l'apprentissage automatique. [SIM][MIC]

### 3.3.3. Définition d'une base de cas

Une base de cas est une mémoire; elle contient une collection de cas qui sont utilisés dans le contexte de la méthode RàPC, dont le but est d'effectuer une tâche de raisonnement [MIC].

### 3.3.4. Cycle du RàPC

Le processus de raisonnement peut être résumé en utilisant les quatre étapes de base. Elles sont connues comme le cycle RàPC. La figure 3.2 illustre le cycle de résolution de problèmes, ce dernier est constitué des étapes suivantes :

1. **Retrouver** : Récupération des cas précédemment expérimentés similaires (par exemple, solution-problème-résultat triples) dont le problème est jugé similaire.
2. **Réutiliser** : proposer une solution pour résoudre le nouveau problème en utilisant des informations et des connaissances du cas récupéré.
3. **Réviser** vise à évaluer l'applicabilité de la solution proposée.
4. **Mémoriser** : Le maintien de la nouvelle solution une fois qu'elle a été confirmée ou validée.

Dans de nombreuses applications pratiques, les étapes de réutilisation et de révision sont parfois difficiles à distinguer, et plusieurs chercheurs utilisent une phase d'adaptation unique qui les remplace et les combine. Cependant, l'adaptation dans un système de RàPC est encore une question ouverte car est un processus compliqué qui essaie de manipuler des solutions de cas. Les cas enregistrés dans la base de cas ont été enrichis par des connaissances générales, qui dépendent souvent du domaine du problème [SIM].

L'approche processus du cycle de vie RàPC fournit une vue globale et externe de ce qui se passe, alors une vue orientée tâche est bonne pour décrire les mécanismes réels. Les

tâches sont mises en place en fonction des objectifs du système, et une tâche particulière est effectuée en appliquant une ou plusieurs méthodes. Les méthodes utilisées dans chaque tâche indiquent les façons possibles pour accomplir cette tâche. La méthode spécifie l'algorithme qui identifie et contrôle l'exécution de la sous-tâche particulière. La sélection d'une méthode appropriée dépend du problème et nécessite des connaissances dans le domaine d'application. Dans les situations où l'information est incomplète ou manquante et nous voulons exploiter la tolérance pour l'imprécision, l'incertitude, le raisonnement approximatif, et les techniques de calcul de la vérité douce partielles pourraient fournir des solutions avec traçabilité, robustesse, et à faible coût.

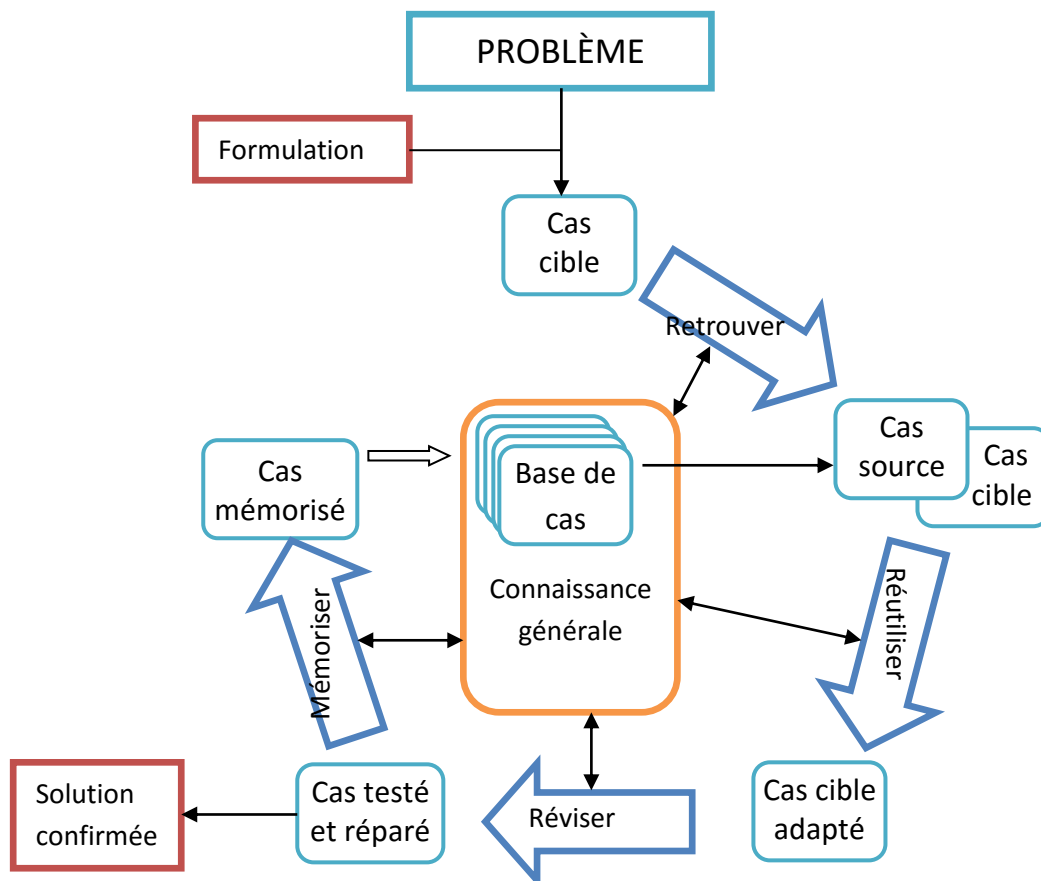


Fig.3.4 cycle du RàPC

### 3.3.5. Formulation du problème

La formulation du problème est la tâche qui part de la nécessité d'obtenir un nouveau problème de l'utilisateur. Idéalement, les utilisateurs doivent entrer le nouveau problème en utilisant la même représentation et le niveau de détail que ceux des cas dans la base de cas. Souvent, ce n'est pas le cas. A titre d'exemple, il peut arriver que l'utilisateur sache ce qu'il faut atteindre, mais ne peut pas exprimer le problème avec précision. Considérons un utilisateur qui souhaite trouver un "fauteuil confortable" pour son salon. La formulation du problème aurait besoin d'une description des éléments de la chaise et de leurs propriétés qui peuvent ne pas être disponibles. Par conséquent, on ne peut pas immédiatement décrire des problèmes tels que les cas.

La formulation du problème peut se faire par différentes manières. Ceci est également connu comme le problème de la génération de la requête « cas cible ». Une vision quelque peu simpliste est que le problème est exactement précisé et complet avec tous les détails. En effet, il peut être coûteux d'acquérir dans une représentation par vecteur attributs les valeurs des attributs pour le problème de la requête. Le point essentiel est donc d'acquérir le peu d'informations possible pour résoudre le problème de la requête mais assez pour fournir une réponse. Il y a deux façons principales de procéder:[MIC]

- Utiliser une formulation éventuellement normalisée du problème.
- Effectuer un dialogue avec l'utilisateur.

Après que le contenu du nouveau problème est obtenu, il existe de différentes façons pour le formuler physiquement. Il peut être tapé dans un ordinateur; il peut être parlé, ou il peut être représenté comme une image ou un diagramme. Ces variations s'appellent la représentation des cas, ce que nous avons présenté précédemment.

### 3.3.6. Retrouver

Les méthodes de récupération ont une place importante dans le cycle RàPC. « Retrouver » dans des bases de cas est entièrement différente de celle dans les bases de données. Il existe des différences majeures. La sélection des cas et la récupération est généralement considérée comme l'étape la plus importante dans le cycle de raisonnement par cas. Des centaines d'algorithmes et différentes approches ont été développées pour extraire des cas similaires de la base de cas. Retrouver des cas est le processus de chercher, au sein

d'une base de cas, les cas qui sont le plus proche du cas cible. Pour effectuer la récupération efficace des cas, il doit y avoir des critères qui déterminent comment un cas est jugé approprié pour la récupération et un mécanisme pour contrôler la façon dont la base de cas est recherchée. Les critères de sélection sont nécessaires pour déterminer qui est le meilleur des cas retrouvés, en déterminant à quel point le cas cible est similaire au cas source (enregistrés) [MIC] [SIM].

Les procédés de récupération ne sont pas généraux, ils doivent être conçus pour chaque système. Ceci est dû à la complexité des cas et la correspondance inexacte que la RàPC met en œuvre. Dans un système de raisonnement à base de cas, Retrouver n'est pas un processus autonome. Il est fortement lié à la représentation de cas et la mesure de similarité. Le processus de retrouver des cas similaires est un domaine de recherche majeur dans RàPC. Les techniques de récupération les plus couramment étudiées, sont les k plus proches voisins (k-NN), arbres de décision, et leurs dérivés. Ces techniques impliquent l'élaboration d'une mesure de similarité chez les cas à mesurer [SIM] [MIC].

### 3.3.6.1. Calcul de similarité

Les calculs sont applicables aux attributs avec des valeurs numériques et étroitement liés aux distances numériques. Si les valeurs symboliques sont présentes, ils doivent d'abord être codés numériquement. En mathématiques, les mesures sont discutées en détail et de nombreuses fonctions de distance ont été définies à des fins diverses. Nous présenterons quelques fonctions de calcul de distance utilisé dans la similarité [MIC]

Distance entre Bloc de ville (city bloc metric)

$$d(x, y) = \sum |x_i - y_i|$$

Distance Minkowski

$$d = \sqrt[p]{\sum |x_i - y_i|^p}$$

### 3.3.6.2. K plus proches voisins (k-nn)

Dans la récupération du plus proche voisin, le cas récupéré est choisi lorsque la somme pondérée de ses attributs qui correspondent au cas actuel est supérieure aux autres cas



dans la base de cas. En termes simples, avec tous les attributs pondérés également, un cas source qui correspond au cas cible avec  $n$  attributs sera récupéré plutôt qu'un cas qui correspond uniquement avec  $k$  attributs, où  $k < n$ . Les attributs qui sont considérés comme les plus importants dans une situation de résolution de problèmes peuvent avoir leur importance notée en leur affectant les plus grand poids dans le processus de calcul de similarité. [SIM]

### 3.3.7. Réutiliser

Après sélection d'un cas similaire, l'étape du processus suivante est la réutilisation. Cette étape se termine lorsque la nouvelle solution est proposée pour la prochaine tâche du processus qui est la révision. La réutilisation est la proposition d'une solution pour résoudre le nouveau problème en réutilisant l'information et la connaissance du cas (s) retrouvés. La réutilisation est assez simple quand le nouveau problème est identique au problème du cas récupéré. Quand il diffère, il nécessite une adaptation [SIM] [MIC].

L'adaptation de cas est le processus de transformation d'une solution récupérée en une solution appropriée pour le problème actuel. Pour être systématique, on définit les actions qui causent des changements de solution, généralement par des règles qui déterminent dans quelles conditions ces adaptations sont possibles ou recommandées. L'objectif ultime est d'utiliser ces changements pour obtenir de meilleures solutions appropriées, l'adaptation étroitement liée au processus de «Retrouver ». Le problème avec ce dernier ici est que l'on est à la recherche de la meilleure solution après l'adaptation. Dans cette situation simple rechercher le plus proche voisin dans la base de cas est insuffisante. Par conséquent, il faut étendre les méthodes de récupération [SIM] [MIC].

#### 3.3.7.1. Types d'adaptation

Trois types d'adaptions sont définis : [SIM] [MIC].

- ❖ **Réinstantiation** : est la forme la plus simple d'adaptation, dans laquelle la solution du cas cible est simplement copiée à partir du cas retrouvé et l'utiliser directement, sans modification.
- ❖ **Remplacement** : consiste à remplacer les parties des anciens attributs de solutions qui sont invalides parce qu'elles sont en conflit ou en contradiction avec les exigences de nouveaux problèmes. Il existe deux types de remplacement :

- Remplacement à base de contraintes : une contrainte est décrite par les propriétés d'un composant(s) de la solution requise, ce dernier peut généralement être exprimé par l'utilisation des structures de la connaissance comme la table de décision, l'arbre sémantique, ou des règles SI-ALORS. Par conséquent, les composants à remplacer peuvent être trouvés par la recherche dans la structure de connaissance utilisée. Cette structure de connaissance est généralement définie par des experts à travers des interviews.
  - Remplacement à base du Feedback : l'adaptation de la solution est un processus itératif qui est guidé par l'évaluation des feedbacks de l'utilisateur. Chaque fois qu'une solution est effectuée, le feedback sur son succès est récupéré. Si la solution est refusée la cause de l'échec est analysée et le résultat est utilisé pour modifier le processus d'adaptation.
- ❖ **Transformation** : est utilisé lorsqu'aucune substitution appropriée d'élément n'est disponible. Une solution adaptée sera dérivée à base des contraintes et des caractéristiques de la solution requise. Une contrainte décrit ou définit les propriétés d'un composant(s) de la solution. Il spécifie quelle propriétés la solution devrait ou ne devrait pas avoir. Le composant de la solution doit être conforme aux contraintes, et pas de contradiction ou de conflit. Pour identifier les contraintes, quelques connaissances d'experts prédéfinies ou heuristiques doivent être disponibles.

### 3.3.7.2. Méthode d'adaptation

Il existe deux types de méthodes d'adaptation de cas, celles basées sur les connaissances acquises à partir des experts, et d'autres utilisant l'apprentissage automatique pour adapter les cas retrouvés. Nous allons présenter une méthode de chaque type.

#### Apprentissage d'adaptation des Cas

Le processus d'adaptation est le suivant: Après avoir récupéré le cas le plus similaire à partir de la base de cas, le cas cible et le cas retrouvé sont analysés et un " cas d'adaptation " est construit. Pour les attributs numériques, les différences entre le cas cible et le retrouvé sont stockées dans le cas d'adaptation. Pour les attributs nominaux, leur valeur est stockée dans le cas d'adaptation. Tous les cas d'adaptation constituent ce qu'on appelle connaissances d'adaptation. Compte tenu du cas d'adaptation, le cas le plus similaire est extrait de la base de

cas. Le cas d'adaptation récupéré est ensuite utilisé pour calculer l'ajustement nécessaire pour la solution proposée.

### Algorithmes génétiques

L'idée est que lorsqu'une solution est récupérée, un processus de modification est initialisé au hasard. La solution adaptée est testée et les évaluations sont recueillies afin de déterminer son adéquation. Ce processus est répété pendant plusieurs cycles jusqu'à ce qu'on obtienne une solution satisfaisante. La modification peut être représentée en tant que vecteur et codée comme un chromosome. Les opérateurs génétiques tels que la sélection, croisement et mutation peuvent être utilisés pour travailler sur ces vecteurs et produire une descendance. L'évaluation de la valeur de « **fitness** » de la solution adaptée peut être déterminée soit par un modèle spécifique à un domaine ou par des tests effectués dans le monde réel.

#### 3.3.8. Réviser et mémoriser

La révision est une étape dans le cycle du processus RàPC. Il s'intéresse au fait que certaines des solutions du cas retrouvé, bien que proposées par le système RàPC, peuvent échouer. Réviser commence quand on propose une solution pour résoudre le nouveau problème, et il est terminé quand il est confirmé. Réviser vise à évaluer l'applicabilité de la solution proposée. Les évaluations peuvent être faites dans le monde réel ou par une simulation. La simulation est plus facile et moins chère, mais peut négliger des aspects pratiquement importants. [MIC][SIM]

##### 3.3.8.1. Évaluation

Toutes les évaluations fournissent une sorte de feedback. Les principaux types d'évaluations sont montrés dans la figure 3.5 : [MIC]

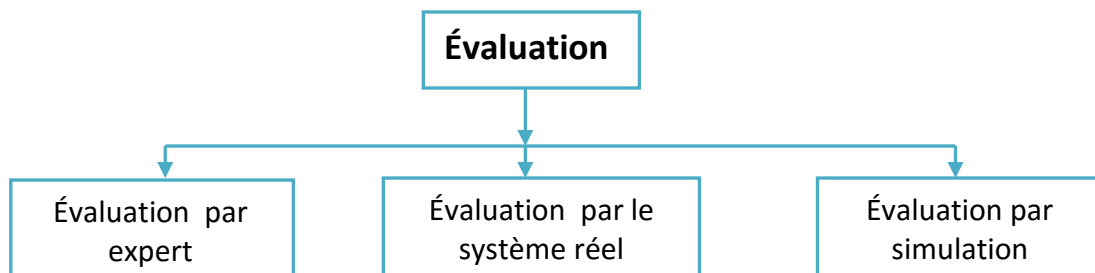


Fig.3.5 types d'évaluation [MIC]

**L'évaluation par un expert** nécessite un expert dans le domaine. Cet expert peut ne pas être disponible et peut également être susceptible à commettre des erreurs. Ceci peut être amélioré si l'expert est un document enregistré certifié pas un humain.

**L'évaluation par un système réel** consiste à exécuter la solution du problème sur le système réel et détecter les changements de son état avec un système intégré de capteurs.

**L'évaluation par la simulation** est l'application de la solution retrouvée sur un modèle prouvé du système réel et vérification si la solution est appropriée ou non.

Après évaluation de la solution, si elle n'est pas valide, les causes d'échec doivent être déterminées pour aider à la réparation de la solution. Deux cas figurent dans la réparation de la solution :

**Auto réparation:** Le système peut générer des solutions réparées par lui-même. Ce peut être basé sur, par exemple, la connaissance générale de domaine ou la simulation.

**Réparation par l'utilisateur :** si l'auto réparation n'est pas possible, c'est à l'utilisateur de trouver la solution réparée.

Après révision, le problème qui se pose est quoi faire avec l'ancien cas. Il est plus applicable. Mais l'étape de révision ne doit pas exclure un cas totalement. Il peut être désactivé temporairement, car il peut être utile à d'autres fins.

### 3.4. Conclusion

Dans cette partie nous avons présenté le modèle structurel de la conduite, puis nous avons déterminé à quel composant nous allons appliquer le système de raisonnement à base de cas dans la conduite. Le raisonnement à base de cas est une méthodologie qui se base sur des expériences antérieures pour résoudre le nouveau problème. Les méthodes à utiliser dans chaque étape dans son processus ne sont pas prédéterminées. Le choix de la méthode dépend du domaine et la représentation du cas. Les méthodes choisies jouent un rôle important dans la qualité des résultats obtenus. L'application du RàPC nécessite un groupe de travail.

## Chapitre 4 : Application du raisonnement à partir de cas pour la conduite d'un générateur photovoltaïque

### 4.1. Introduction

L'installation d'une station photovoltaïque se passe par différentes phases, le choix du site d'installation, dimensionnement, installation des équipements et la mise en service. Notre intervention est après la mise en service de l'installation, dans le maintien en marche de cette dernière pour atteindre ses objectifs. L'application que nous allons développer va assurer la conduite du générateur photovoltaïque en utilisant la méthodologie de raisonnement à base de cas présentée dans le chapitre 3.

Dans ce chapitre nous allons présenter les objectifs à remplir par notre application de conduite, ensuite l'implémentation des différentes étapes de raisonnement à base de cas pour le développement de l'application, après développement nous allons procéder aux tests par simulation de quelques scénarios de conduite.

### 4.2. Objectifs

Les générateurs photovoltaïques connectés au réseau sont placés généralement dans des zones isolés où l'intervention humaine soit en retard ou absente. Les objectifs de notre système sont cités dans les sections suivantes:

#### 4.2.1. Améliorer la productivité du générateur

Dans le cas où le système est sain, la productivité du générateur est maximale, mais à l'occurrence d'un défaut au niveau des panneaux solaires la production diminue. Dans cette situation, notre application de conduite intervient par reconfiguration du générateur pour atteindre une production maximale des modules non défectueux. Exemple : dans le cas d'ombrage partiel du générateur, les panneaux ombrés deviennent des récepteurs d'énergie ce qui diminue la puissance produite. Après détection et localisation de ce défaut, notre application va réagir par isolation des modules ombrés, et la puissance augmente.

### 4.2.2. Augmenter la disponibilité du générateur

Cet objectif est rempli en gardant le générateur en état de production partielle lorsqu'une panne est apparue. Exemple, en cas de défaillance d'un module ou d'un string, la production ne s'arrête pas en attendant de réparation ou remplacement des éléments défectueux. Notre application va isoler la partie en état de panne et garder le générateur en état de production partielle ensuite elle informe l'équipe de maintenance de la panne et sa localisation.

### 4.2.3. Augmenter la durée de vie du système

Certains défauts des modules nécessitent une intervention immédiate comme l'ombrage partiel du module qui engendre le hot spot. Notre application intervient automatiquement dans ce cas par l'isolation du module et l'invocation d'équipe de maintenance pour l'inspection du module en cas où l'ombrage persiste dans le temps.

## 4.3. Application de la conduite par raisonnement à partir de cas

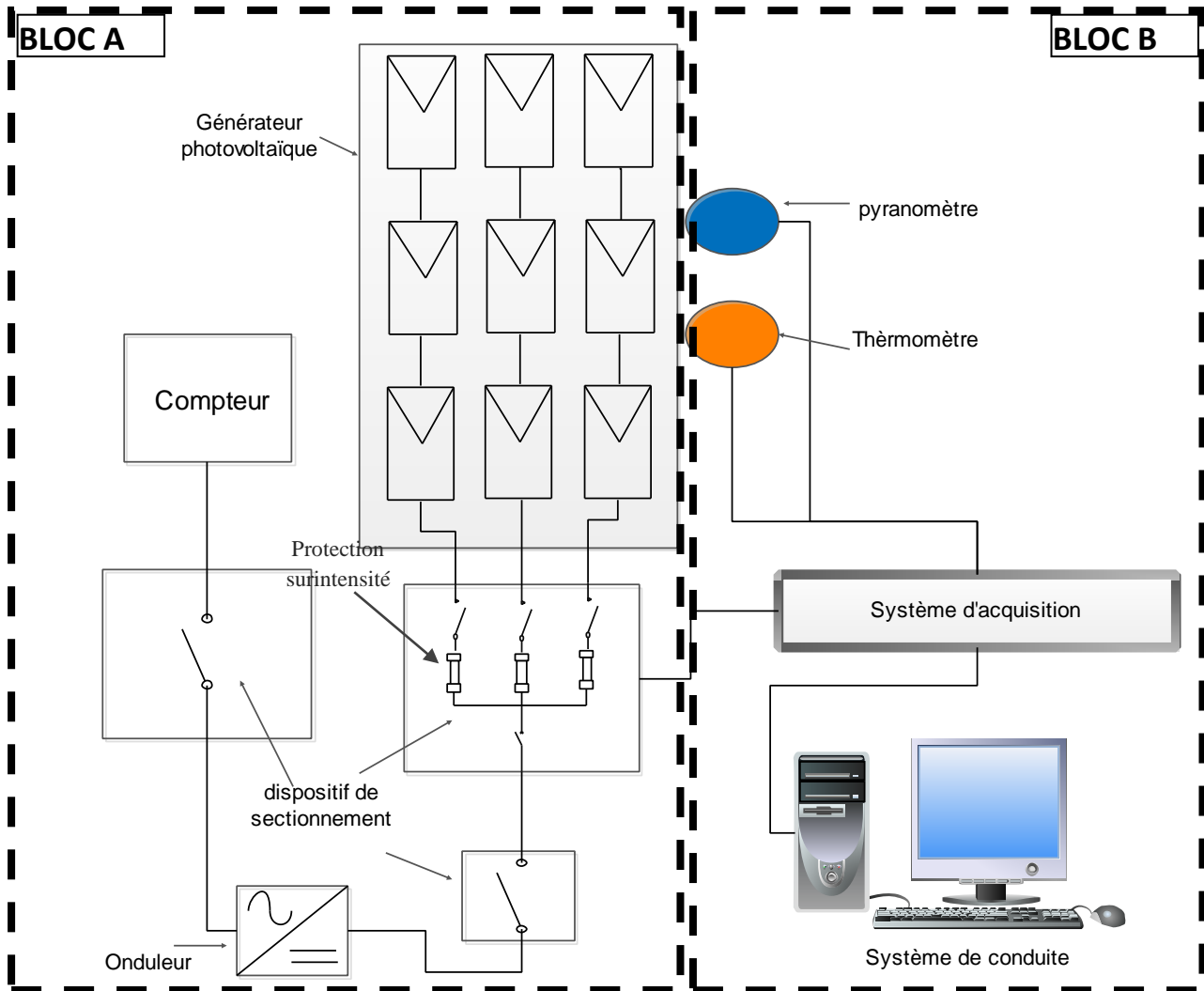
Dans cette section nous allons présenter comment nous allons appliquer les différentes étapes de la méthodologie de raisonnement à partir des cas pour la conduite d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau. Notre application n'est pas spécifique à une installation particulière, nous avons pris un cas général de générateur photovoltaïque. Avant d'entamer l'application de la méthodologie, nous présenterons l'architecture d'un système photovoltaïque connecté au réseau.

### 4.3.1. Architecture d'un système photovoltaïque connecté au réseau

La figure 4.1 montre l'architecture d'un système photovoltaïque connecté au réseau, il y a deux blocs A et B.

Le Bloc A représente l'architecture du système PV connecté au réseau selon la recommandation Union Technique de l'électricité UTE C 15-712 [UTE]. Chaque string est connecté à un sectionneur et à une protection surintensité, l'ensemble des strings du générateur sont connectés à un sectionneur ensuite vers l'onduleur. On note ici qu'il peut y avoir pour chaque string un onduleur selon l'architecture choisie et l'étude. Après l'onduleur le compteur et en fin injection dans le réseau.

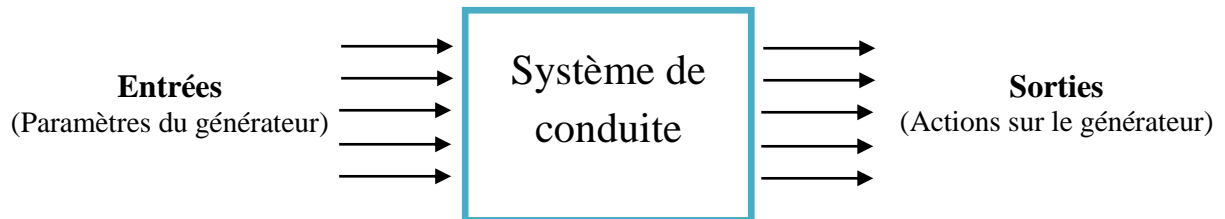
Le Bloc B montre les parties du système de conduite, un système d'acquisition connecté aux différents capteurs pour collecter les informations nécessaires à la conduite. Des dispositifs qui permettant de réagir automatiquement sur le générateur. Les capteurs obligatoires sont : le thermomètre pour la température, le pyranomètre pour l'ensoleillement et les capteurs de courant et de tension. Concernant les dispositifs pour reconfigurer le générateur plusieurs solutions sont possibles, nous pouvons utiliser des automates programmables pour déconnecter et connecter les strings automatiquement.



**Fig.4.1.** Architecture d'un générateur connecté au réseau selon la recommandation UTE C 15-712 [UTE]

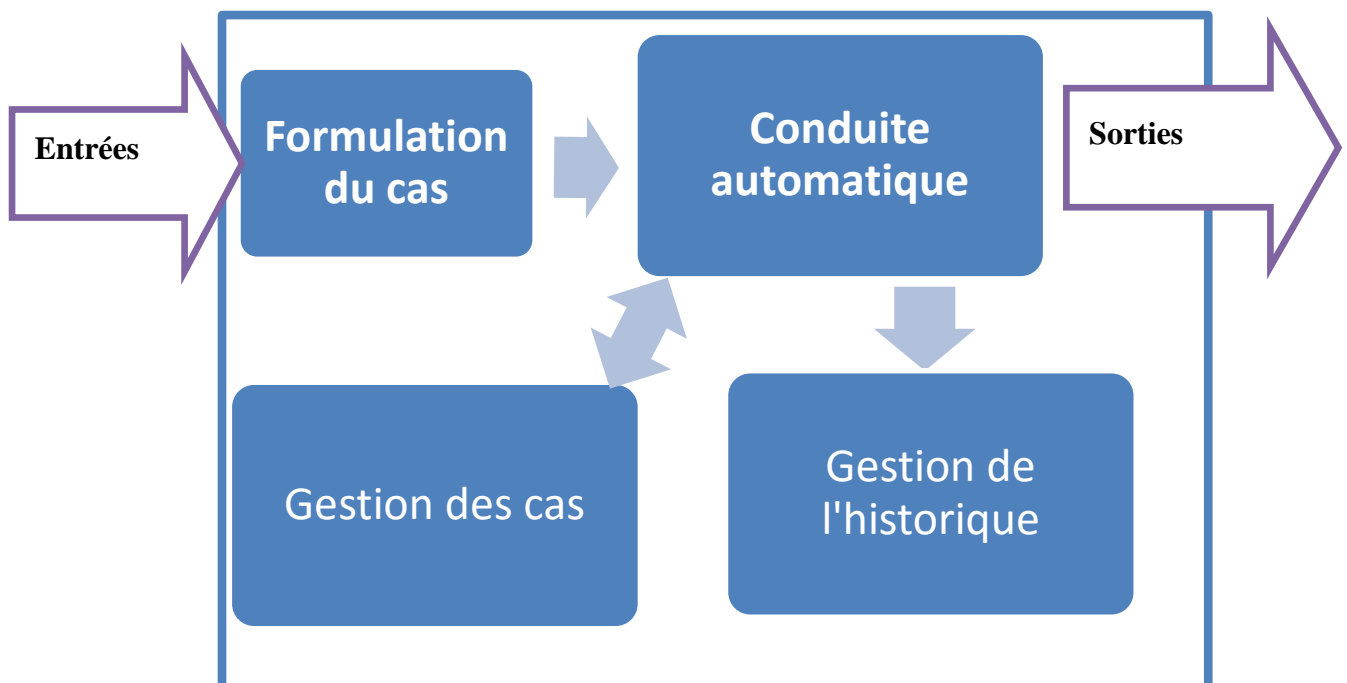
### 4.3.2. Architecture du système de conduite automatique

Le système de conduite agit sur le générateur photovoltaïque selon son état de fonctionnement, alors le système de conduite a besoin comme entrée des informations sur le générateur, et évidemment génère des actions pour réagir sur ce dernier. Donc, notre système de conduite peut être présenté comme une boîte qui a comme entrée les paramètres du générateur photovoltaïque et comme sorties des actions sur le générateur. La figure 4.2 illustre notre système de conduite.



**Fig.4.2.** schématisation du système de conduite

Pour assurer la fonction de conduite, nous avons décomposé le système de conduite en petits sous-systèmes. Chacun de ces derniers a une de ces fonction à remplir : formulation du cas, la conduite automatique, gestion des cas, gestion de l'historique. On obtient alors la forme du système de conduite montré dans la figure 4.3



**Fig.4.3.** Les composantes du système de conduite



**Formulation des cas :** son objectif est de construire un cas à partir des valeurs des paramètres du système reçus en entrée. La représentation des cas sera abordée dans la section suivante.

**Conduite automatique :** ce sous système est le plus important dans le système. Il applique la méthode de raisonnement à partir de cas pour générer les actions appropriées à l'état actuel du générateur. Il reçoit comme entrée le cas source, en utilisant la base de cas, il donne en sortie les actions à appliquer sur le générateur.

**Gestion des cas :** son rôle est de gérer la base de cas. Il permet de modifier et d'ajouter des cas dans la base de cas.

**Gestion de l'historique :** son rôle est de garder la trace de toutes les actions appliquées sur le générateur par le système de conduite et permet aux experts d'améliorer le système en étudiant son historique.

### 4.3.3. Modélisation du système

La modélisation du système consiste à représenter le générateur photovoltaïque dans un format utilisable par la méthodologie RàPC. Dans cette dernière, la modélisation est l'étape de représentation des cas.

Cette étape est très importante car elle a une grande influence pas seulement sur les types des méthodes à utiliser mais aussi sur la fiabilité des résultats obtenus. Dans notre travail, nous avons utilisé la représentation par vecteur d'attributs par ce qu'elle est la plus convenable pour déterminer un état précis du système photovoltaïque spécialement le générateur. Nous avons trouvé dans la littérature que chaque recherche sur la photovoltaïque prend en considération les caractéristiques et les paramètres du système nécessaire pour le contexte d'étude. Alors pour notre contexte d'étude qui est la conduite du générateur photovoltaïque, les paramètres qui ont une influence importante sont :

- **Le courant :** le courant produit par le générateur ;
- **La tension :** la tension produite par le générateur ;
- **L'état du générateur :** l'état actuel du générateur (type de panne);
- **La température :** la température du module photovoltaïque ;
- **L'ensoleillement :** l'ensoleillement reçu par les modules;

### - L'architecture du générateur ;

Nous avons besoin aussi d'un autre paramètre calculé qui est « *Rapport Production effective / production théorique* ». La production effective est calculée à partir des valeurs du courant et tension acquises du générateur. Cependant la production théorique est calculée en utilisant un modèle du générateur.

Ces attributs constituent la partie problème du cas, alors pour la partie solution c'est la sortie de la tâche de conduite qui est un ensemble d'actions sur le système. Nous avons réparti ces actions en groupes selon le dispositif cible de l'action, chaque groupe représente un attribut de solution du cas qui sont les suivants : *Actions sur modules, Actions sur connecteur, Actions sur capteurs, Actions sur tracker, Réglage d'inclinaison, Injection dans le réseau.*

Maintenant que les attributs du cas (problème et solution) sont déterminés, il faut préciser les valeurs que peuvent avoir chacun. Les valeurs de : la température, le courant, la tension et l'ensoleillement sont issues directement du capteur en temps réel et leur type est réel. L'architecture du générateur se représente par un double (nombre de module en série dans un string, nombre de strings en parallèle).

Cependant, pour le reste des attributs et leurs valeurs sont des ensembles de valeurs prédéfinies. Nous les présenterons comme suit:

**L'état du générateur :** ses valeurs déterminent le type de panne du générateur s'il y a eu une, sinon elle a la valeur *saine*, alors cet attribut est renommé « type de panne ». Nous avons basé sur le travail de BUN long [BUN] pour déterminer les valeurs de cet attribut. Les types de pannes sont :

- Sain : représente l'état sain du générateur ;
- Connectique déconnecté ;
- Ombrage ;
- Module court-circuité ;
- Module shunté ;

**Système de tracking :** les valeurs de cet attribut représente l'état du système de suivi du soleil s'il existe, sinon sa valeur est : *Absent*. Les valeurs de cet attribut sont :

- Absent ;
- En marche ;
- En panne ;

**Action sur module :** les valeurs de cet attribut sont les actions possibles à appliquer sur les modules. Ces actions sont extraites du domaine de maintenance des systèmes photovoltaïques, et chaque action est appliquée dans une situation appropriée. En cas où l'état du système ne nécessite pas à réagir sur les modules cet attribut va y avoir la valeur « NON ». L'ensemble des actions est :

- NON ;
- ISOLER ;
- REMPLACER
- NETTOYER ;

**Action sur connecteur :** l'ensemble d'actions à appliquer sur les connecteurs du système :

- NON ;
- REMPLACER ;
- MAINTENIR ;

**Action sur capteur :** cet attribut contient les actions à appliquer sur les capteurs. Ces derniers peuvent être défectueux alors il faut les remplacer ou si déconnecté alors les reconnecter. Dans notre système nous avons quatre (04) capteurs : thermomètre, pyranomètre, ampèremètre et voltmètre, on obtient alors la liste des valeurs suivantes :

- NON ;
- CONNECTER THERMOMÈTRE
- REMPLACER THERMOMÈTRE
- CONNECTER PYRANOMÈTRE
- REMPLACER PYRANOMÈTRE
- CONNECTER AMPÈREMÈTRE
- REMPLACER AMPÈREMÈTRE
- CONNECTER VOLTMÈTRE
- REMPLACER VOLTMÈTRE

**Action sur tracker :** le tracker est le système qui suit le mouvement du soleil, s'il existe dans le système, son état peut être détecté et ensuite de réagir sur ce dernier. Cet attribut contient les valeurs que peuvent subir le tracker qui sont :

- NON ;
- MISE EN MARCHE ;
- RÉPARATION ;
- RÉGLAGE ;

**Réglage d'inclinaison :** l'angle d'inclinaison des panneaux est important pour atteindre le rendement maximal. En cas où le système détecte que l'angle est faux il faut le régler. Alors cet attribut contient les valeurs suivantes :

- NON ;
- Réglage d'inclinaison ;

**Injection dans le réseau :** lorsque la puissance produite n'atteint pas la puissance minimale de fonctionnement de l'onduleur on arrête l'injection dans le réseau. Les valeurs de cet attribut sont :

- NON ;
- INJECTION ;

Après que nous ayons déterminé les attributs du cas et leurs valeurs, nous obtiendrons la forme du cas illustré dans la figure 4.4.

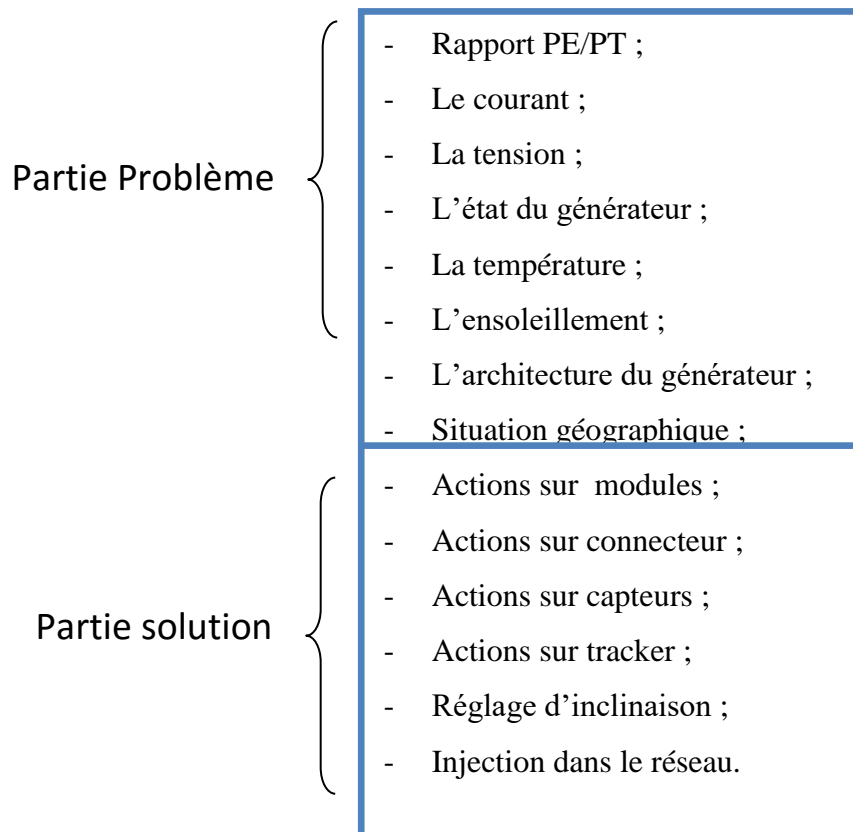
### **Méthode de réglage d'inclinaison**

L'action de réglage d'angle d'inclinaison est déclenchée lorsque le générateur est sain et le système de tracking n'existe pas ou en panne et le rapport PE/PT est inférieur à 75%. Dans telle situation on dit que les modules ne sont pas inclinés avec le bon angle. Notre système calcule l'angle d'inclinaison correcte en se basant sur les informations de la situation géographique (latitude, longitude) et la date.

L'axe nord-sud de la terre fait un angle de  $23^{\circ}27'$  avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du Soleil. Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du Soleil et est responsable des variations saisonnières. Pour trouver l'angle

d'inclinaison optimale dans un endroit, il faut savoir l'inclinaison des rayons solaires qui varie évidemment chaque jour avec  $0.2549^\circ$  ( $23.45^\circ/92$ jours). Alors pour le calcul d'angle d'inclinaison nous avons utilisé ces formules :

- ❖ Du 22 Décembre au 21 Mars:  $H=90^\circ - \text{Latitude} - (\text{nombre de jours} * 0.2549)$  ;
- ❖ Du 22 Mars au 21 Juin:  $H=90^\circ - \text{Latitude} + (\text{nombre de jours} * 0.2549)$  ;
- ❖ Du 22 Juin au 21 Septembre:  $H=90^\circ - \text{Latitude} + 23.45 - (\text{nombre de jours} * 0.2549)$  ;
- ❖ Du 22 Septembre au 21 Décembre :  $H=90^\circ - \text{Latitude} - (\text{nombre de jours} * 0.2549)$  ;



**Fig.4.4.** Les attributs du cas du système

#### 4.3.4. Calcul de la similarité

L'étape de retrouver des cas similaires au cas cible est très important dans un système de raisonnement à base de cas. Pour l'extraction des cas les plus similaires au cas source, nous avons opté au calcul de distance entre les cas. Parmi les méthodes existantes pour le calcul de la distance, nous avons choisi à utiliser deux (02) méthodes distance entre bloc de ville et

distance euclidienne avec poids. Les règles utilisées pour chaque méthode sont données respectivement :

Distance entre bloc de ville [MIC] :

$$d(x, y) = \sum |x_i - y_i| \dots\dots\dots(1)$$

Distance euclidienne avec poids [MIC] :

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i(x_i - y_i)^2} \dots\dots\dots(2)$$

Bien que la première (1) méthode mesure seulement la distance entre 2 cas, cependant la deuxième (2) nous permet de donner l'importance à des attributs que d'autres et d'exclure certains en leur donnant un poids 0 parce que dans la réalité pas tous les attributs ont la même importance. Il est noté que dans la deuxième (2<sup>ème</sup>) méthode la somme des poids doit être égale à un (1). [MIC]

Le calcul de distance se fait entre les attributs de la partie problème du cas, et il faut que leurs valeurs soient numériques. Les attributs de notre cas ne sont pas numériques ce qui nécessite une transformation. Nous allons transformer les valeurs de l'attribut '*état du générateur*' du symbolique au numérique pour cela nous avons associé un nombre de 0 à 4 pour chaque valeur symbolique, la panne la plus critique a la valeur la plus grande 4 alors nous avons obtenu le résultat suivant :

- Sain ; 0
- Connectique déconnecté ; 1
- Ombrage ; 2
- Module court-circuité ; 4
- Module shunté ; 3

Dans l'application, le choix de la méthode à utiliser pour le calcul de la distance est fait par l'utilisateur.

### **K plus proches voisins**

Le calcul de distance a pour objectif de trouver les plus proches du cas cible (problème), après parcours de la base de cas nous prendrons les 3 cas les plus proches du cas cible alors  $K=3$ . Ces trois cas sont utilisés dans l'étape suivante qui est l'adaptation dont la quelle nous allons générer une solution pour le cas cible (problème).

#### **4.3.5. Les règles d'adaptation**

L'adaptation des cas consiste à donner une solution cohérente, il faut qu'on ne trouve pas des contradictions entre les valeurs de la partie problème et la partie solution. Pour cela l'application vérifie chaque valeur des solutions la plus proche avec les valeurs de la partie problème du cas cible, si elle n'est pas cohérente on passe à la valeur de cet attribut du cas similaire suivant et on recommence la vérification. Si aucune des valeurs des 3 cas similaires n'est pas cohérente on donne une valeur « NON » par défaut à cet attribut.

La vérification se fait en utilisant des règles de type « **si condition alors résultat** ». Les attributs qui peuvent poser beaucoup de situations de non cohérence sont « type de panne » et « action sur module ». Ci-après des exemples de règles utilisées pour la vérification :

1- **Si** Action sur module = *REPLACER* **et** type de panne = *SAIN*

**Alors** VALEURS INCOHÉRENTES

2- **Si** Action sur module = *ISOLÉ* **et** type de panne = *SAIN*

**Alors** VALEURS INCOHÉRENTES

Après l'adaptation, nous obtiendrons un cas avec des solutions préliminaires, ce cas avec ces valeurs de solution sont passés à l'étape suivante qui est la révision.

#### **4.3.6. Révision du cas**

La solution obtenue dans l'étape précédente n'est pas encore validée. La validation se fait par évaluation avec simulation en utilisant un modèle du générateur. Le modèle du

générateur est obtenu en se basant sur le modèle de la cellule photovoltaïque. Il existe différents schémas électroniques équivalents à une cellule photovoltaïque. Les deux que nous allons illustrer sont les plus utilisés :

**Modèle à une seule diode** : la figure 4.5 illustre le schéma électronique, à une seule diode, équivalant à une cellule photovoltaïque. Le courant produit est donné par l'équation (3) : [HEL]

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left( \exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{V_t \cdot a}\right) - 1 \right) - \left( \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_{sh}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

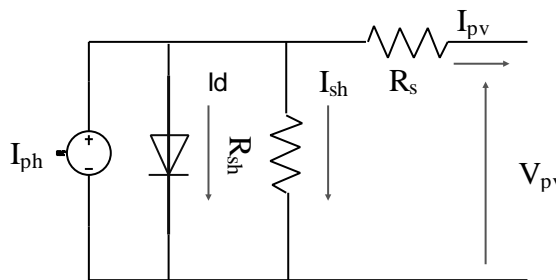


Fig.4.5. Schéma du modèle à une diode [HEL]

$I_{ph}$  : Courant équivalent proportionnel à l'ensoleillement reçu par la cellule

$I_s$  : Courant de saturation inverse de la diode

$V_t = KT/q$  : représentant la potentielle thermodynamique.

$T_c$  : est la température absolue

$q$  : la constante de charge d'électron,  $1.602 \cdot 10^{-19}C$

$K$ : la constante de Boltzmann,  $1.38 \cdot 10^{-23} J/K$

$a$  : facteur d'idéalité de la diode 1 à 2.

$R_{sh}$ : est la résistance de shunt

**Modèle de Bishop** : ce modèle prend l'effet d'avalanche de la cellule en considération en ajoutant au modèle à une diode un multiplicateur non linéaire  $M(V1)$  en série avec la résistance shunt [BUN]. La figure 4.6 illustre le schéma électronique équivalent à ce modèle :



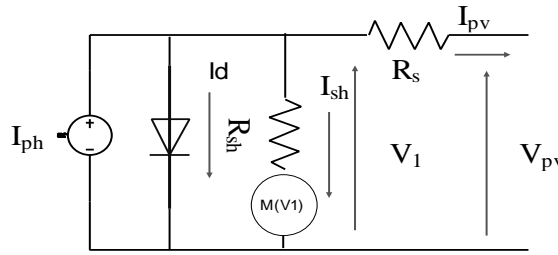


Fig.4.6. schéma du modèle de Bishop [BUN]

Le courant produit est donné par l'équation (4) : [BUN]

$$I_{ph} = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \left[ 1 + k \left( 1 - \frac{V + R_s I}{V_b} \right)^{-n} \right] \dots \dots \dots (4)$$

$I_{ph}$  : Courant équivalent proportionnel à l'ensoleillement reçu par la cellule A

$I_s$  : Courant de saturation inverse de la diode A

$V_t = a k_b T_c / q$  : Tension thermique de la diode. Elle dépend de température de la cellule  $T_c$ .

Tandis que  $a$ ,  $k_b$  et  $q$  sont respectivement le facteur d'idéalité de diode (1 à 2), la constante de Boltzmann ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  J/°K) et la charge de l'électron ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  C).

$R_s$  : Résistance série de la cellule  $\Omega$

$R_{sh}$  : Résistance shunt de la cellule  $\Omega$

$k$  : Coefficient de réglage de Bishop (3.4 à 4)

$n$  : Coefficient de réglage de Bishop (~ 0.1)

$V$  : Tension de claquage de la cellule (-10 V à -30 V)

**Calculer  $I_{ph}$**  : Le Courant équivalent proportionnel à l'ensoleillement reçu par la cellule (courant photonique) est lié à l'éclairement, à la température et au courant photonique mesuré aux conditions de référence. Le courant photonique est donné par l'équation (5)

$$I_{ph} = \left( \frac{G}{G_{ref}} \right) \left( I_{ref} + \mu_{ISC} (T - T_{ref}) \right) \dots \dots \dots (5)$$

$I_{ref}$ : le courant photonique sous condition de référence [ampères]

$G$ ,  $G_{ref}$ : l'éclairement réel et à la condition de référence [W/m2]

$T$ ,  $T_{ref}$ : température de cellules, réelles et à la condition de référence [degré Kelvin]

$\mu_{ISC}$ : coefficient de la température du courant de court circuit [ampères/degré]

Pour simplifier le calcul de  $I_{ph}$ , on fait souvent l'approximation que le courant  $I_{ref}$  est égal au courant de court-circuit  $I_{sc}$  du module.

### Calcul de courant et de la tension du générateur :

Ces modèles de cellule sont utilisés pour déterminer la caractéristique I-V du générateur. L'architecture du générateur détermine comment calculer le courant (I) et la tension (V). L'architecture du générateur est déterminée par les paramètres suivants :

$N_{string}$  : nombre de strings en parallèle ;

$N_{module}$  : nombre de groupes de module en parallèle dans un string;

$N_{cellule}$  : nombre de groupes de cellule en parallèle dans un module;

$M_{module}$  : nombre de modules en série dans un string;

$M_{groupe}$  : le nombre de groupes de cellules en série dans un module;

$M_{cellule}$  : nombre de cellules en série dans un groupe de cellule;

A partir de ces paramètres, nous pouvons déterminer les valeurs du courant et de la tension comme suit:

$$I_{générateur} = N_{string} \times N_{module} \times N_{cellule} \times I_{cellule}$$

$$V_{générateur} = M_{module} \times M_{groupe} \times M_{cellule} \times V_{cellule}$$

**Validation :** La validation de la solution se fait par deux méthodes. La première est la comparaison du résultat de la solution appliquée sur le système réel et celle du modèle du générateur dans lequel on applique cette solution. Si les résultats sont identiques la solution est correcte, donc elle est enregistrée dans la base de cas, sinon la solution n'est pas correcte on enregistre le cas avec la mention -1 n'est pas faisable. La solution résultant de cette méthode est correcte mais n'est pas optimale, cependant, la deuxième méthode de validation est par un expert du domaine, il consulte la base de cas et modifie les cas avec la mention -1 en leur donnant les valeurs de la solution optimale.

#### 4.4. L'outil de développement

Nous avons utilisé l'outil Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) pour implémenter notre application. LabVIEW est un langage de programmation graphique développé par National Instruments. Sa nature graphique le rend idéal pour les tests et les mesures, l'automatisation, le contrôle d'instruments, l'acquisition de données et les applications d'analyse de données. Cela se traduit par des gains de productivité significatifs par rapport aux langages de programmation classiques [RIC]. National Instruments se concentre sur les produits de test et de mesure, en leur donnant un bon aperçu de développement dans LabVIEW.

Nous avons opté pour l'utilisation de Labview parce qu'il a des avantages importants par rapport aux langues classiques et autres outils de contrôle et d'acquisition de données, ci-après quelques raisons d'utilisation de Labview [GAR]:

- L'interface utilisateur intégrée, facile à utiliser et à appliquer;
- Le prototypage rapide est favorisé par LabVIEW, conduisant à des démonstrations rapides et efficaces qui peuvent être réutilisées ou élargies dans des applications complètes.

#### 4.5. Fonctionnement générale de l'application de conduite

Nous avons présenté dans la section 4.3.2 les différentes composantes de notre système de conduite. Le fonctionnement de ce dernier commence par l'acquisition des différentes données du générateur, ensuite il calcule le rapport **PE/PT** (*production effective / production théorique*). Si PE/PT est entre 0.85 et 1, le système ne fait rien et le générateur est en fonctionnement normal. Sinon si PE/PT est supérieur à 1 alors l'architecture du générateur n'est pas la même que celle saisie dans les paramètres de l'application ; un message d'erreur alors est affiché à l'utilisateur pour corriger la valeur de l'architecture du générateur. Enfin si PE/PT est inférieur à 0.85, une anomalie est apparue dans le système, alors le processus de conduite automatique est déclenché pour la reconfiguration du système, les actions générées et appliquées sur le générateur sont enregistrées dans un fichier historique.

Le fonctionnement est illustré dans l'organigramme de la figure 4.7.

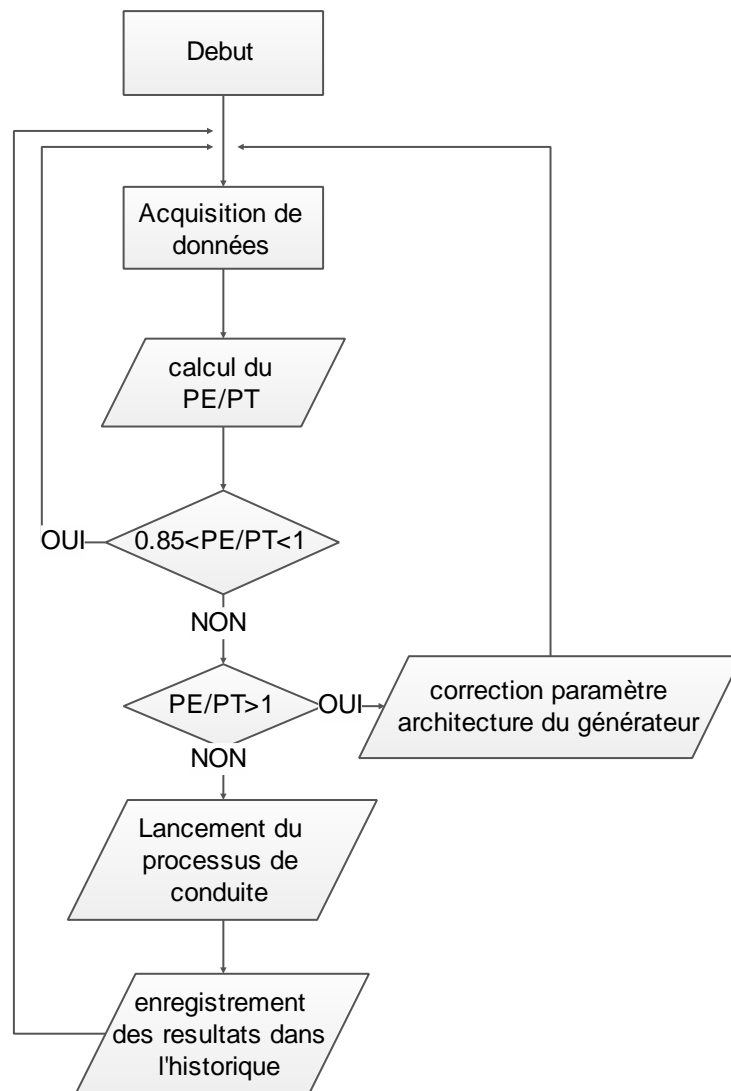


Fig.4.7. Organigramme de fonctionnement générale de l'application

## 4.6. Déploiement de l'application

Après le développement de l'application, sa base de cas est vide et les paramètres de l'application ne sont pas fixés. Alors la première étape de déploiement de l'application est de saisir les différents paramètres obligatoires pour son bon fonctionnement tel que : les paramètres du modèle de la cellule photovoltaïque et l'architecture du générateur.

### 4.6.1. Paramétrage de l'application

L'application fournit deux onglets pour entrer les paramètres du générateur et celle de la cellule photovoltaïque qui sont « Paramètre du système » et « Modèle de cellule

photovoltaïque ». Les paramètres du système concernent le choix des méthodes à utiliser, les caractéristiques du module, architecture du champ, situation géographique et les poids des attributs du cas. Ces derniers sont obligatoires lorsque la méthode de distance choisie est euclidienne avec poids. Cependant les paramètres du modèle de la cellule photovoltaïque sont le modèle choisi, les différents paramètres de ce modèle et les caractéristiques de la cellule photovoltaïque. Ces onglets sont illustrés respectivement dans les figures 4.8 et 4.9.

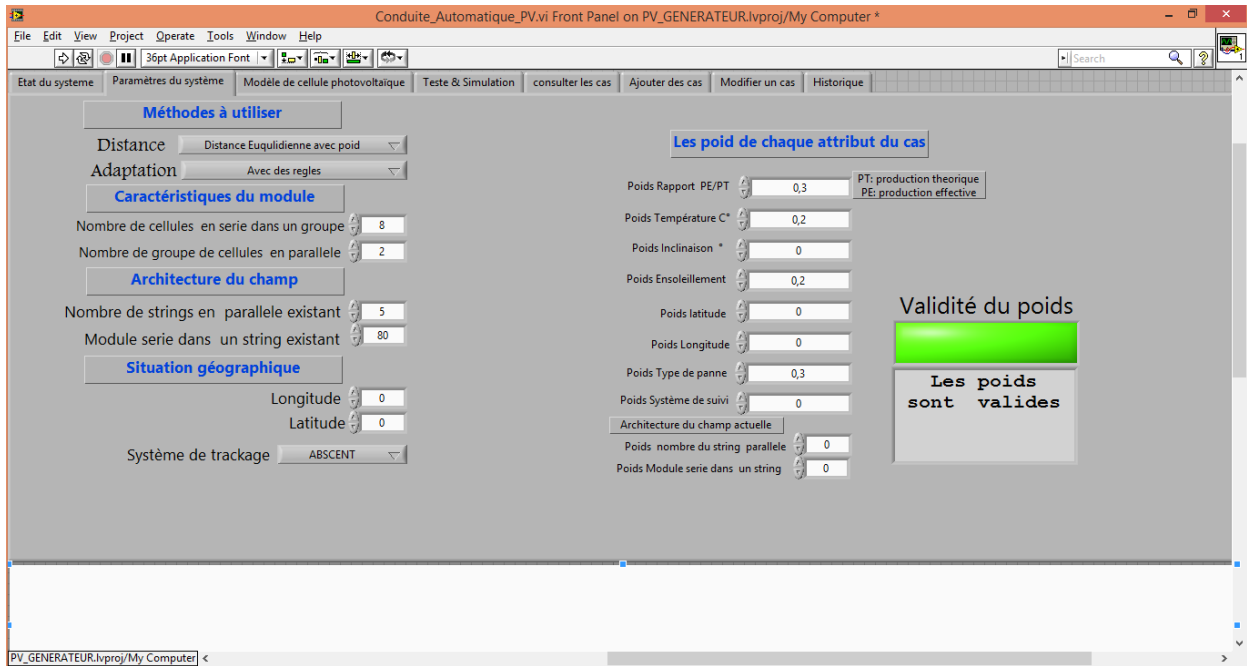


Fig.4.8 Onglet de paramétrage du système

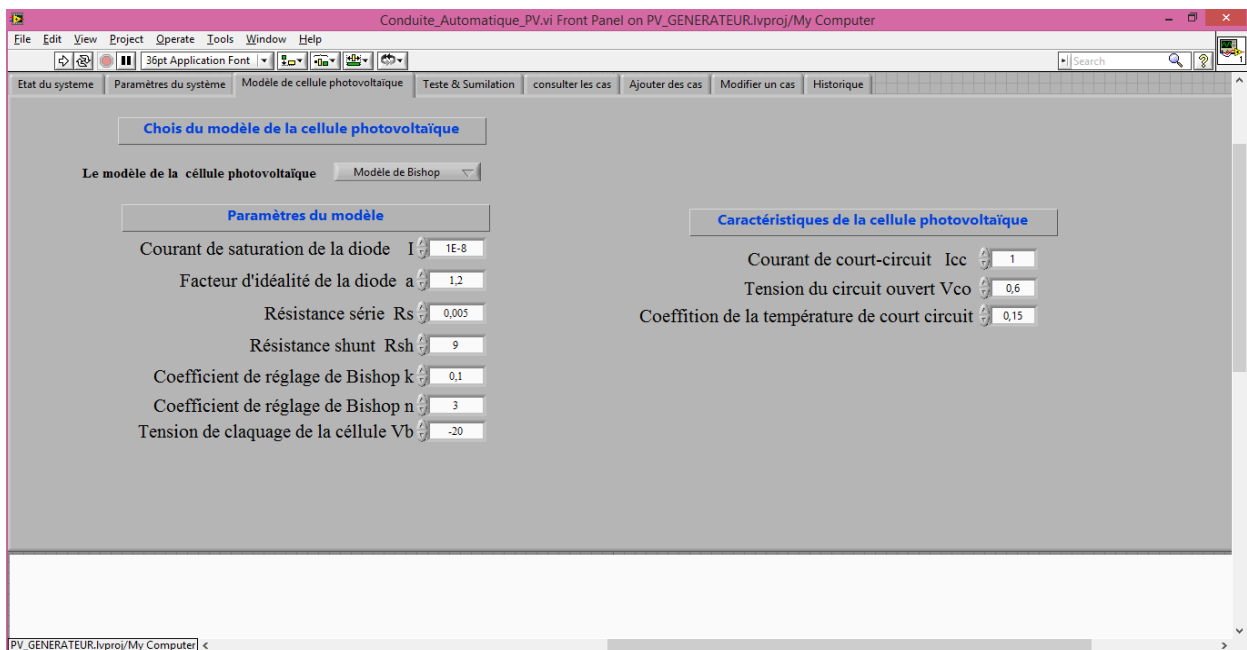


Fig.4.9 Onglet Modèle de cellule photovoltaïque

#### 4.6.2. Construction de la base de cas

Dans l'état initial, la base de cas de l'application est totalement vide, alors le processus de raisonnement ne nous donnera aucun résultat. Nous avons construit une interface spéciale pour le remplissage de la base de cas. Les cas que nous avons enregistrés sont issus du domaine de la maintenance du système photovoltaïque et des travaux de recherche sur les systèmes photovoltaïques. La figure 4.10 illustre l'interface d'ajout des cas.

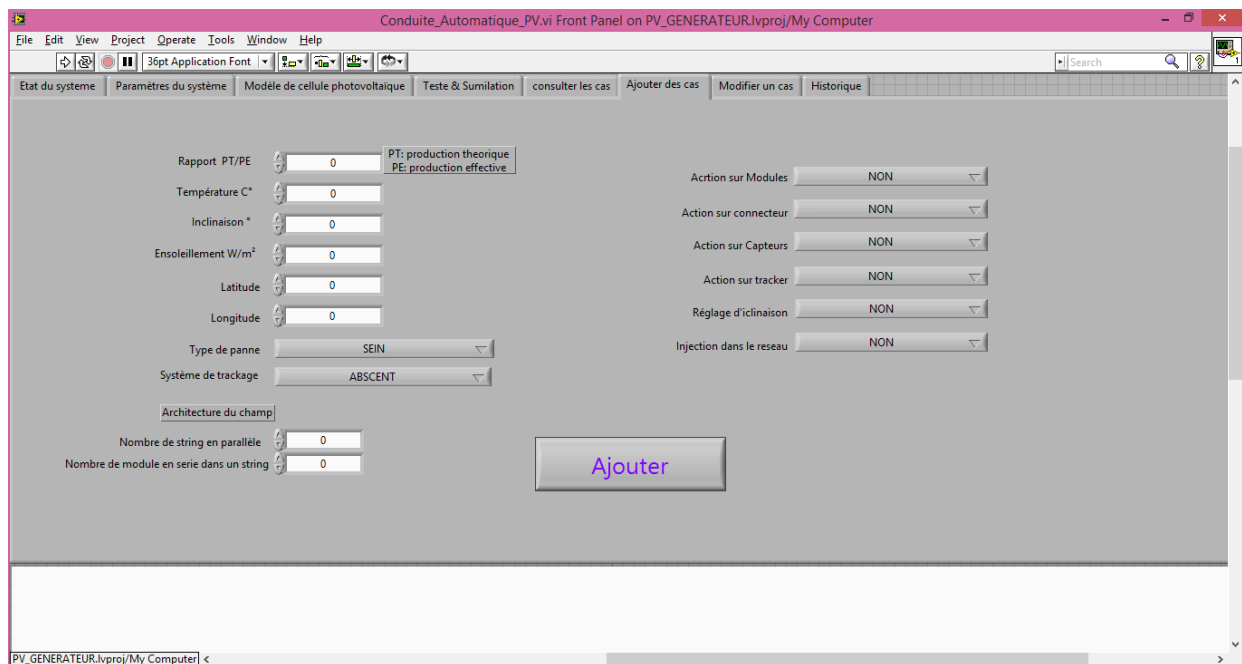


Fig.4.10. L'interface d'ajout des cas

L'utilisateur peut consulter la base de cas à tout moment et effectuer d'éventuels changements ou corrections. L'application possède un onglet pour la consultation de la base des cas et un autre onglet pour la modification des cas pour une éventuelle mise au point du système de conduite, la modification se fait par la spécification du cas à modifier ensuite la saisie des différentes valeurs des attributs du cas. Ces deux onglets sont illustrés respectivement par les figures 4.11 et 4.12.

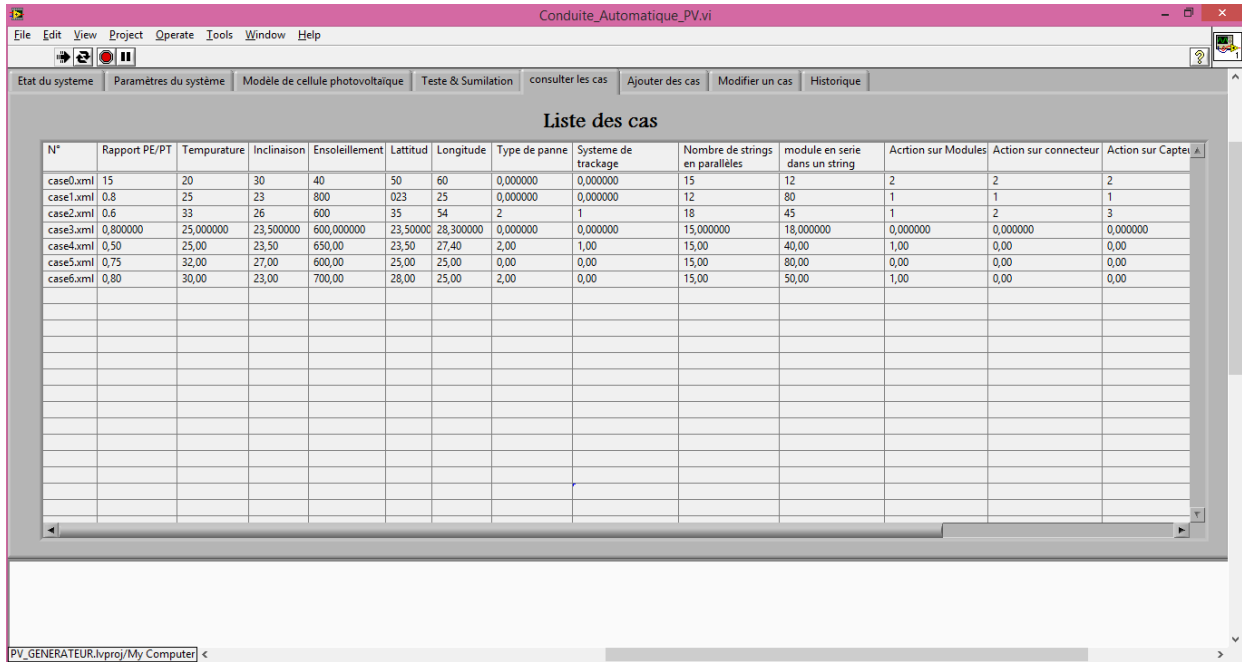


Fig.4.11. Consultation de la base de cas

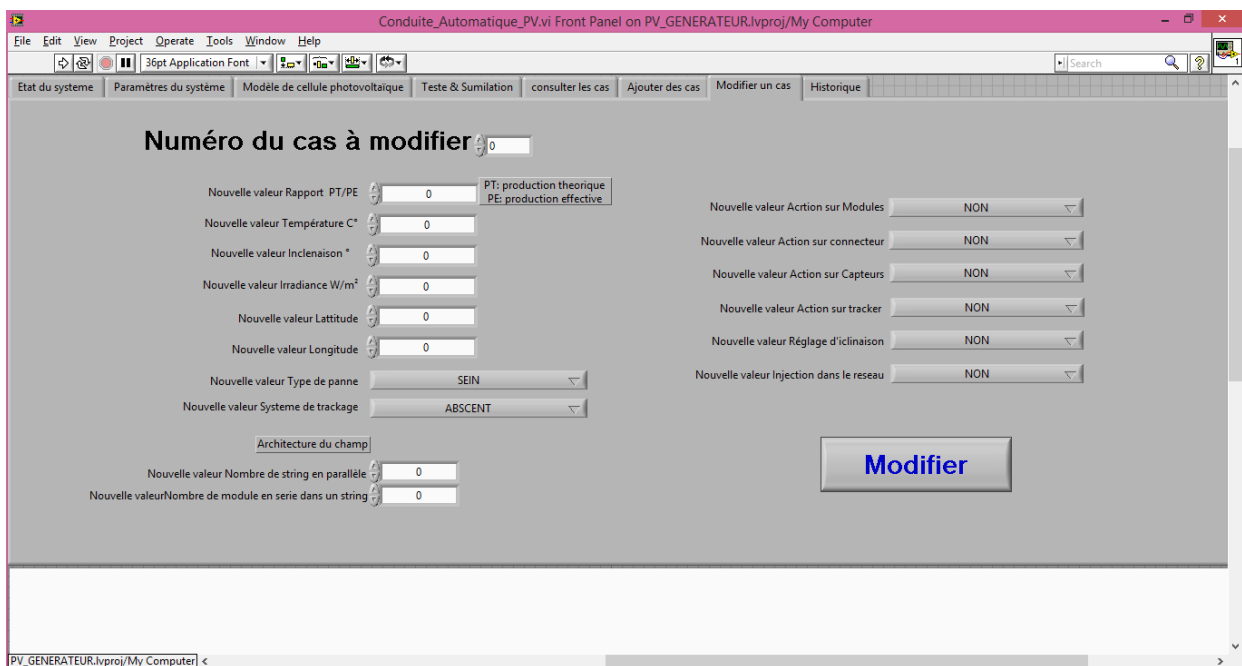


Fig.4.12. Modification du cas

Après la saisie des différents paramètres et remplissage de la base de cas, on lance l'application et on sélectionne l'onglet état du système qui montre la production actuelle du système, l'objectif à atteindre et la caractéristique I/V de la cellule photovoltaïque. Cet onglet est illustré dans la figure 4.13.

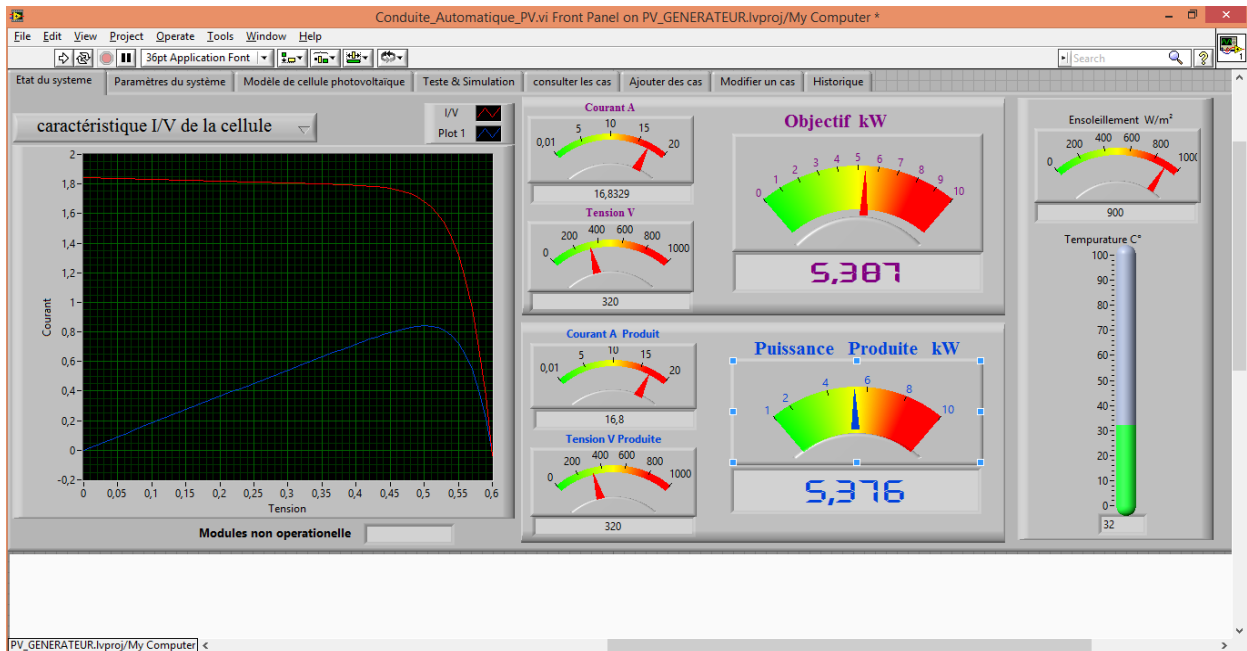


Fig.4.13. Onglet état du système

### 4.7. Test de l'application

La qualité de la solution obtenue par le système de raisonnement est vérifiée en utilisant un système de test. Ce système nous permet de mettre au point la configuration des différents paramètres de l'application, le modèle, les méthodes de calcul de distance, etc.

Le test se fait par un cas dont le résultat est connu au préalable, si la solution obtenue est correcte alors le système fonctionne correctement, sinon l'ajustement du paramètre ou l'enrichissement de la base de cas est nécessaire. La figure 4.14 illustre l'interface de test.

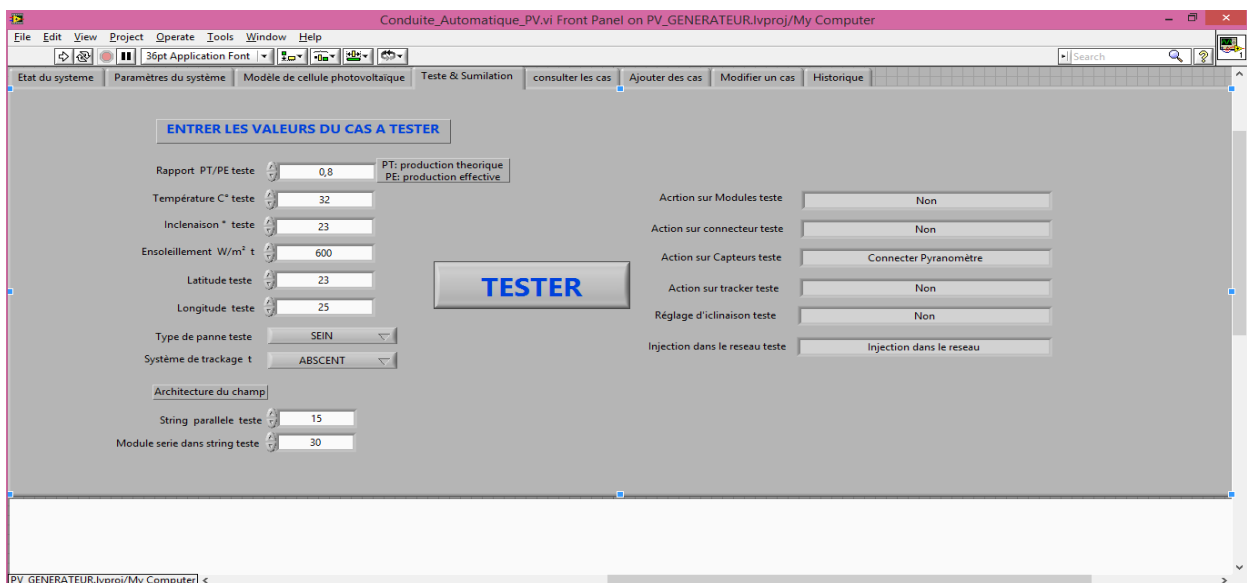


Fig.4.14. l'interface de test



## 4.8. Exemple d'application du système

Dans cette partie, nous allons faire un exemple de démonstration de l'application. Alors nous allons suivre les étapes de déploiement décrites auparavant, en commençant par le paramétrage de l'application, saisie des cas pour l'enrichissement de la base de cas et le test des résultats du système de raisonnement à base de cas.

### 4.8.1. Paramétrage de l'application

Dans l'onglet *Paramètres du système* nous allons régler les différents paramètres comme suit :

#### Méthodes à utiliser :

- Distance : *Distance Euclidienne avec poids* ;
- Adaptation : *Avec des règles* ;

#### Caractéristiques du module

- Nombre de cellules en série dans un groupe : 8 ;
- Nombre de groupes de cellules en parallèle : 2 ;

#### Architecture du champ

- Nombre de strings en parallèle existant : 5 ;
- Module série dans un string existant : 80 ;

#### Situation géographique

- Longitude : 6.35 ;
- Latitude: 35.42 ;

#### Système de tracking : Absent ;

**Les poids de chaque attribut du cas** sont obligatoires lorsque la méthode *Distance euclidienne avec poids* est choisie.

- Poids Rapport PE/PT : 0.3 ;
- Poids Température C° : 0.2 ;
- Poids Ensoleillement W/m<sup>2</sup> : 0.2 ;
- Poids Type de panne : 0.3 ;

- Le reste des poids sont égaux à 0 ;

Le système vérifie automatiquement que la somme des poids est égale à 1 et l'indique à l'utilisateur dans l'onglet.

Passons maintenant à l'onglet *Modèle de cellule photovoltaïque* et nous fixons les paramètres comme suit :

**Le modèle de la cellule photovoltaïque : Modèle de Bishop**

**Paramètres du modèle**

- Courant de saturation de la diode  $I$  :  $10^{-8}$  ;
- Facteur d'idéalité de la diode  $a$  : 1.2 ;
- Résistance série  $R_s$  : 0.005 ;
- Résistance shunt  $R_{sh}$  : 9 ;
- Coefficient de réglage de Bishop  $k$  : 0.1 ;
- Coefficient de réglage de Bishop  $n$  : 3 ;
- Tension de claquage de la cellule  $V_b$  : -20 ;

**Caractéristiques de la cellule photovoltaïque**

- Courant de court-circuit  $I_{cc}$  : 1 ;
- Tension du circuit ouvert  $V_{co}$  : 0.6 ;
- Coefficient de la température de court circuit  $A/^\circ C$  : 0.15 ;

**4.8.2. Construction de la base de cas**

Le tableau suivant montre les cas que nous avons entrés dans la base de cas

	<b>Cas1</b>	<b>Cas2</b>	<b>Cas3</b>	<b>Cas4</b>	<b>Cas5</b>	<b>Cas6</b>
<b>Rapport PE/PT</b>	0.6	0.6	0.6	0.72	0.72	0.72
<b>Température</b>	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
<b>Inclinaison</b>	23.5	23.5	23.5	23.5	23.56	23.5
<b>Ensoleillement</b>	650	650	650	650	650	650
<b>Latitude</b>	35.42	35.42	35.42	35.42	35.42	35.42
<b>Longitude</b>	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35

<b>Type de panne</b>	Ombrage	Connectique déconnectée	Module court-circuité	Sain	Sain	Sain
<b>Système de tracking</b>	Absent	Absent	Absent	Absent	En marche	En panne
<b>Nombre de strings en parallèles</b>	10	10	10	10	10	10
<b>module en série dans un string</b>	80	80	80	80	80	80
<b>Action sur Modules</b>	Isoler	Non	Remplacer	Non	Non	Non
<b>Action sur connecteur</b>	Non	Maintenir	Non	Non	Non	Non
<b>Action sur Capteurs</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Non
<b>Action sur tracker</b>	Non	Non	Non	Non	Réglage	Réparation
<b>Réglage d'inclinaison</b>	Non	Non	Non	Réglage d'inclinaison	Non	Non
<b>Injection dans le réseau</b>	Injection	Injection	Injection	Injection	Injection	Injection

**Tab4.1.** tableau du cas de la base de cas

### 4.8.3. Les tests

Après le paramétrage du système et remplissage de la base de cas, notre système est maintenant prêt pour les tests. Nous avons prévu un ensemble de cas pour voir si l'application nous renvoie les bons résultats et en cas de présence de conflit quel résultat sera renvoyé par le système.

Les cas choisis sont montrés dans le tableau 4.2, on note ici que seulement les valeurs de la partie problème sont pris en considération.

	<b>Cas1</b>	<b>Cas2</b>	<b>Cas3</b>	<b>Cas4</b>
<b>Rapport PE/PT</b>	0.58	0.6	0.65	0.65
<b>Température</b>	30,00	32,00	25,00	25
<b>Inclinaison</b>	30	23.5	23.5	23.5
<b>Ensoleillement</b>	600	650	750	750
<b>Latitude</b>	35.42	35.42	35.42	35.42
<b>Longitude</b>	6.35	6.35	6.35	6.35
<b>Type de panne</b>	Ombrage	Connectique déconnectée	Sain	Sain
<b>Système de tracking</b>	Absent	Absent	Absent	En marche

<b>Nombre de strings en parallèles</b>	10	10	10	10
<b>module en série dans un string</b>	80	80	80	80

Tab.4.2. La liste des cas à tester

Après que les tests sont effectués, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 4.3 :

	<b>TestCas1</b>	<b>TestCas2</b>	<b>TestCas3</b>	<b>TestCas4</b>
<b>Action sur Modules</b>	Isoler	Non	Non	Non
<b>Action sur connecteur</b>	Non	Maintenir	Non	Non
<b>Action sur Capteurs</b>	Non	Non	Non	Non
<b>Action sur tracker</b>	Non	Non	Non	Non
<b>Réglage d'inclinaison</b>	Non	Non	<i>Régler l'angle d'inclinaison à : 65,259900°</i>	Non
<b>Injection dans le réseau</b>	Injection	Injection	Injection	Injection

Tab.4.3. La liste des résultats de test pour chaque cas

#### 4.8.4. Analyse des résultats

Les résultats des tests sont acceptables, pour les cas TestCas1 et TestCas2, les solutions obtenues sont les solutions optimales. Le cas le plus similaire au TestCas1 est le Cas1 alors la partie solution de ce cas est appliquée, idem pour le TestCas2 le cas le plus similaire est Cas2.

Le résultat obtenu pour le cas TestCas3 est formidable, le système trouve que le cas le plus similaire est Cas4 dont la solution est *réglage d'inclinaison*, le système fournit automatiquement l'angle exacte d'inclinaison en se basant sur les informations de la situation géographique et la date actuelle.

Cependant, pour le résultat du TestCas4 n'est pas optimal. On voit que le rapport PE/PT est inférieur à 0.85 et la solution ne contient aucune action. Alors on analyse comment le système a traité ce cas on trouve :

Le cas le plus similaire pour TestCas4 est le cas Cas4, alors le système prend sa partie solution est passé à l'étape d'adaptation de la solution. Dans l'attribut réglage d'inclinaison le système trouve un conflit : « réglage d'angle d'inclinaison mais le système de tracking existe et est en marche », dans ce cas le système passe à la solution du cas similaire suivant et

applique les règles d'adaptation sur celui-ci, il le trouve valide malgré que ce n'est pas optimale.

Le réglage de cette anomalie est d'enrichir la base de cas avec ce cas en lui affectant la bonne solution, ou on affecte un poids à l'attribut «système de trackage ».

## 4.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons illustré le fonctionnement de l'application et les différentes méthodes utilisées dans son développement. La conduite du générateur est faite par le raisonnement à partir de cas dont la décision à prendre est extraite des cas ultérieurs similaires. Nous avons illustré en détail la phase de formulation et représentation des cas qui est une phase importante dans un système de raisonnement à partir de cas. Bien que certaines fonctions supplémentaires ne sont pas encore développées mais la fonction conduite est toujours opérationnelle.

Les résultats obtenus sont satisfaisants mais pour de meilleurs résultats il faut que la base de cas soit très riche.

## Conclusion générale

Le pétrole est une énergie épuisable, alors les énergies renouvelables sont celles de futur. Dans notre travail, nous avons présenté les sources renouvelables disponibles en Algérie et leur exploitation, les méthodes de l'intelligence artificielle utilisées dans la supervision et enfin la conduite par raisonnement à partir de cas. L'exploitation actuelle des énergies renouvelables n'est pas importante, mais le programme lancé pour le développement de ces énergies donne une importance à ces énergies, spécialement le photovoltaïque. Dans notre travail, nous avons illustré que les installations solaires photovoltaïques nécessitent un suivi en temps réel de leurs fonctionnement pour augmenter leurs production et disponibilité, cela est effectué par la conduite.

Notre système de conduite permet de générer les bonnes actions à appliquer sur le générateur lorsque son état change en utilisant la méthodologie de raisonnement à base de cas. Durant ce travail, nous avons constaté que l'utilisation de la méthodologie de raisonnement à base de cas est délicate, spécialement dans le choix de type de représentation des cas et les méthodes de calcul de similarité et d'adaptation.

La richesse de la base de cas a une influence importante sur la qualité des solutions obtenues par le raisonnement, plus la base est riche les solutions sont meilleures.

Comme perspective, nous proposons de rajouter à cette application un sous-système de détection des pannes du générateur, un sous-système reconfiguration optimale automatique des connexions pour avoir une meilleure production et un système qui permet l'échange de cas entre les systèmes implantés dans les différents sites.

## Référence bibliographique

- [**ABE**] Aberkane A, *Centralisation des plateformes de supervision des chaînes de productions automatisées*, Université M'hamed Bougara- Boumerdes, Mémoire de magistère 2011.
- [**ADE**] Adel M, Soteris A.K, *Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review*, Progress in Energy and Combustion Science 34, pages 574-632, 2008.
- [**ALA**]Alaoui R.M, *Conception d'un module de diagnostic a base des suites de bandes temporelles en vue de la supervision des procédés énergétique, Application en ligne à un générateur de vapeur*, Université des Sciences et Technologies de Lille, thèse doctorat, 2004.
- [**APG**] Anne L, Pascal C, Jean-Paul B, Benjamin F, *Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque*, édition Dunod, 2010.
- [**BAH**]Bahgat A, Helwa N.H., Ahmad G.E., El Shenawy E.T., *Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks*, Renewable Energy 2005.
- [**BAL**] Jean-Louis B, Bernard C, *Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement*, Sciences de la Terre et des planètes 333, pages 827-834, 2001.
- [**BEL**] Belhadj M, *Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome*, Centre Universitaire De Bechar, Mémoire de Magister, 2008.
- [**BUN**]BUN Lg, *Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV*, Université de Grenoble, thèse de doctorat, 2011.
- [**CLA**]Aleonard C, Dindeleux É, Soenen R, *Conduite des systèmes de production*, Techniques de l'Ingénieur A8260-R7598 v1, 1994.
- [**DAM**]Trentesaux D, Sénéchal O. *Conduite des systèmes de production manufacturière*, article publié en Techniques de l'Ingénieur S7598 v1, 2002.
- [**ENR**] <http://www.energies-renouvelables.org> Consulter le 25-05-2015

- [GAR] Gary W.J, Richard J, *LabVIEW Graphical Programming Fourth Edition*, Maison d'édition McGraw-Hill, 2006.
- [HEL] Helali K, *Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative*, université de Tizi Ouzou, thèse de magistère, 2012.
- [HER] Hernadeza JCN, Medinaa A, Juradob F. *Optimal allocation and sizing for profitability and voltage enhancement of PV systems on feeders*. *Renewable Energy* vol 32 N° 10 page 1768-1789, 2007.
- [IKH] Ikhlef B, *Contribution à l'Etude de la Supervision Industrielle Automatique dans un Environnement SCADA*, thèse de magister, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, 2009.
- [MAH] Mahadoui R, *Diagnostic industriel par neuro-flou -application à un système de production*, thèse de magister, université de Batna, 2007.
- [MAN] Damiano L, Vincenzo L.V, Eleonora R.S, Vincenzo D, Pietro R, *Reconfigurable electrical interconnection strategies for photovoltaic arrays: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, pages 412-426, 2014.
- [MEL] Mellit A, Benghanem M, Hadj Arab A, Guessoum A, *Modeling of sizing the photovoltaic system parameters using artificial neural network*. In: *Proceedings of IEEE conference on control application*, 2003.
- [MER] Merahi R, *Modélisation d'un dispositif MPPT pour l'étude de l'augmentation de la puissance produite par les générateurs photovoltaïques*, thèse de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [MIC] Michael M.R, Rosina O.W, *Case-Based Reasoning A Textbook*, Maison d'édition Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- [NOP] Nopporn P, Suttichai P, Yosanaï S, *Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system*, *Renewable Energy* Vol. 30 N° 11 pages 1771-1788, 2005.
- [NUR] Nur Atharah K, Chee Wei T, *A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37 pages 585-598., 2014.



- [RAC] Racoceanu D, *Contribution à la Surveillance des Systèmes de Production et Utilisant les Techniques de l'Intelligence Artificielle*, thèse d'habilitation doctorat Université de Franche-Comté, 2006.
- [RIA] Megartsi R, *Proposition d'un support de conduite des processus d'entreprise dans un contexte perturbé*. Université d'Aix-Marseille III: Thèse de Doctorat, 2001.
- [RIC] Rick B, Taqi M, Matt N, *Labview Advanced Programming techniques Second edition*, Maison d'édition CRC press Taylor & Francis Group, 2007.
- [RNC] Ressources naturelles Canada <https://www.rncan.gc.ca/> Consulter le 10-07-2015.
- [SIL] Da Silveira M, *Sur la distribution avec redondance partielle de modèles a événements discrets pour la supervision de procédés industriels*, thèse de doctorat, université de Toulouse, 2003.
- [SIM] Simon c. K. Shiu, sankar k. Pal, *Foundations of soft case-based reasoning*, Maison d'édition John Wiley & Sons Hoboken, New Jersey USA, 2004.
- [UTE] Guide Pratique Installations photovoltaïques, Union Technique De L'électricité 2008.
- [XUE] Xue L, Yanzhi W, Di Z, Naehyuck Ch, Pedram M, *Online Fault Detection and Tolerance for Photovoltaic Energy Harvesting Systems*, IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD) 2012, November 5-8, 2012, San Jose, California, USA.
- [YAI] Yaich M, Bouhnik A, *ATLAS SOLAIRE ALGÉRIEN*, Centre de développement des énergies renouvelables, 2002.
- [YZH] Zhao Y, Yang L, Lehman B, De Palma J.F, Mosesian J, Lyons R, *Decision Tree-Based Fault Detection and Classification in Solar Photovoltaic Arrays*, Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012
- [ZEM] Zemouri R, *Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à l'e-maintenance*, thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2003.
- [ZHI] Zhihua L, Yuanzhang W, Diqing Z, Chunhua W, *An Intelligent Method for Fault Diagnosis in Photovoltaic Array*, System Simulation and Scientific Computing Communications in Computer and Information Science, 2012

[ZHO]Zhao Y, Ball R, Mosesian J, De Palma J.F, Lehman B, *Graph-Based Semi-supervised Learning for Fault Detection and Classification in Solar Photovoltaic Arrays*, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, September 15–19, 2013, Denver, CO, USA.

## Annexe

### Présentation des différents onglets de l'application

Dans cette annexe, nous allons voir tous les onglets de l'application en exposant leurs contenus.

#### 1. L'onglet état du système

Cet onglet contient les informations acquises du système et celles calculées à partir du modèle. Les différents composants sont :

- (01) Menu de choix des informations à afficher dans la grille, les différents choix sont :
  - a. Caractéristique I/V de la cellule ;
  - b. Caractéristique I/V du champ ;
  - c. Puissance du champ ;
- (02) La grille d'affichage ;
- (03) Le courant, la tension et la puissance calculée à partir du modèle (Objectif) ;
- (04) Le courant, la tension et la puissance produite effectivement ;
- (05) Les informations météo acquises: l'ensoleillement, la température, le courant photonique ;
- (06) L'endroit où les messages sont affichés à l'utilisateur, il est visible depuis tous les onglets.

La figure A.1 illustre l'onglet état du système

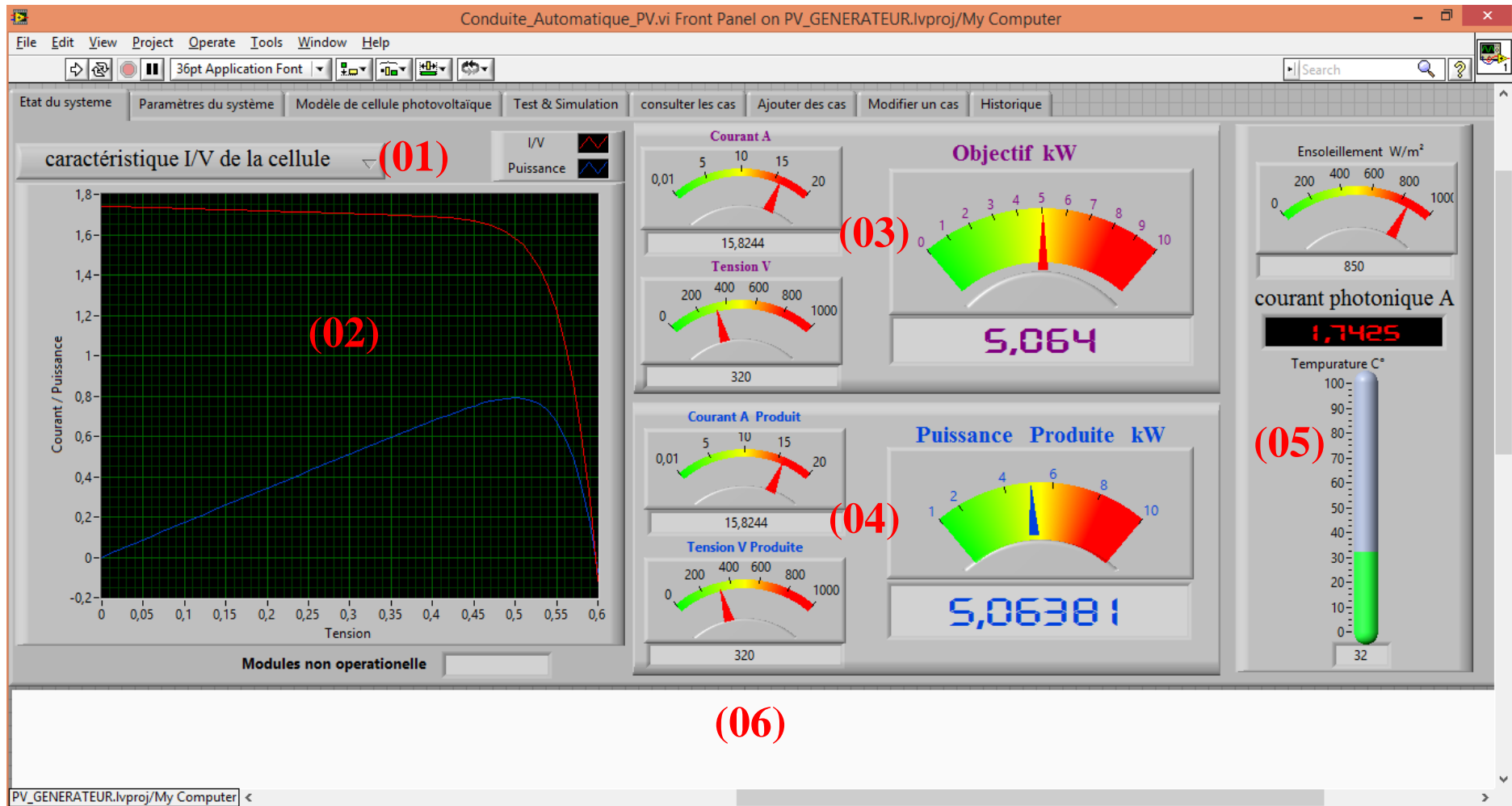


Fig.A.1. L'onglet état du système

## 2. L'onglet paramètres du système

Cet onglet contient tous les paramètres nécessaires au bon fonctionnement du système de conduite ils sont répartis en groupe comme suit :

**Méthodes à utiliser** : Distance, Adaptation.

**Caractéristiques du module** : Nombre de cellules en série dans un groupe, Nombre de groupes de cellules en parallèle.

**Architecture du champ** : Nombre de strings en parallèle existant, Module série dans un string existant.

**Situation géographique** Longitude, Latitude.

**Système de trackage.**

**Les poids de chaque attribut du cas**

Cet onglet est illustré dans la figure A.2.

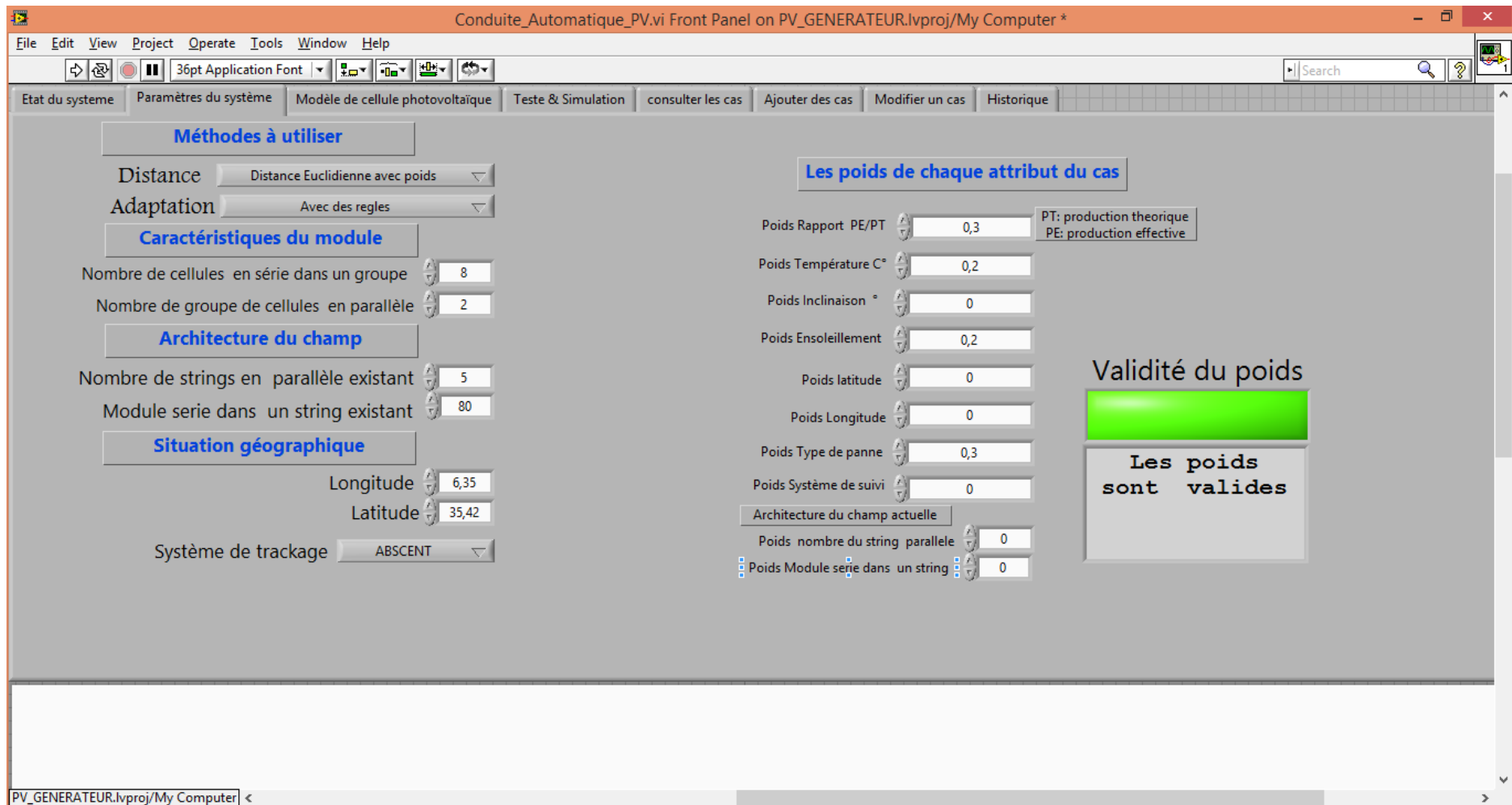


Fig.A.2. L'onglet paramètres du système

### 3. L'onglet modèle de la cellule photovoltaïque

Cet onglet contient toutes les informations du modèle électronique choisi pour la représentation de la cellule photovoltaïque.

**Le modèle de la cellule photovoltaïque :** Modèle de Bishop/ Modèle à une seul diode.

#### Paramètres du modèle

- Courant de saturation de la diode
- Facteur d'idéalité de la diode  $a$
- Résistance série  $R_s$
- Résistance shunt  $R_{sh}$  ;
- Coefficient de réglage de Bishop  $k$
- Coefficient de réglage de Bishop  $n$
- Tension de claquage de la cellule  $V_b$

#### Caractéristiques de la cellule photovoltaïque

- Courant de court-circuit  $I_{cc}$
- Tension du circuit ouvert  $V_{co}$

La figure A.3 illustre l'onglet modèle de la cellule photovoltaïque.

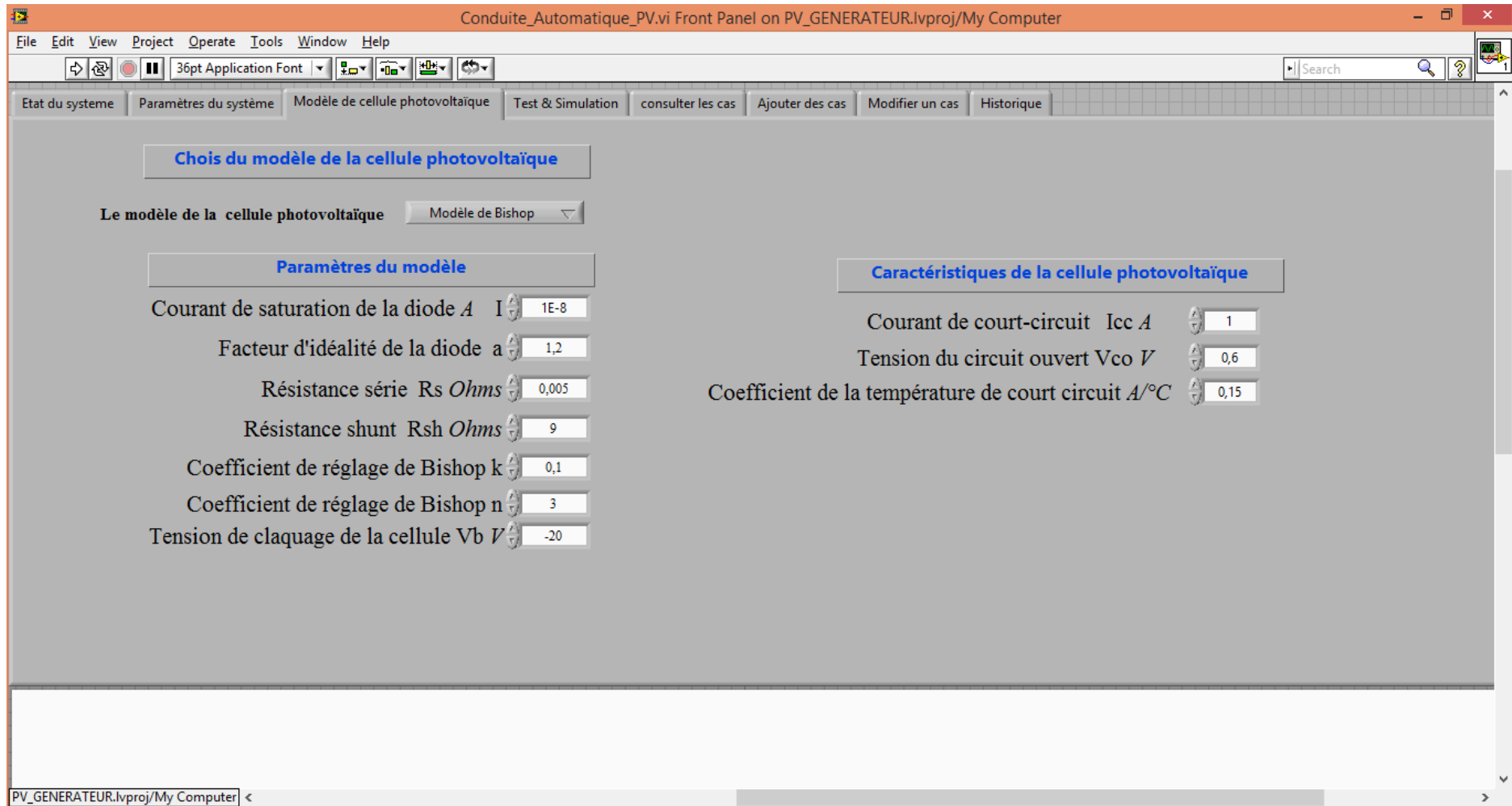


Fig.A.3. L'onglet modèle de la cellule photovoltaïque



#### 4. Onglet test&simulation

- (01) Les informations de la partie problème du cas à tester ;
- (02) La solution obtenue ;

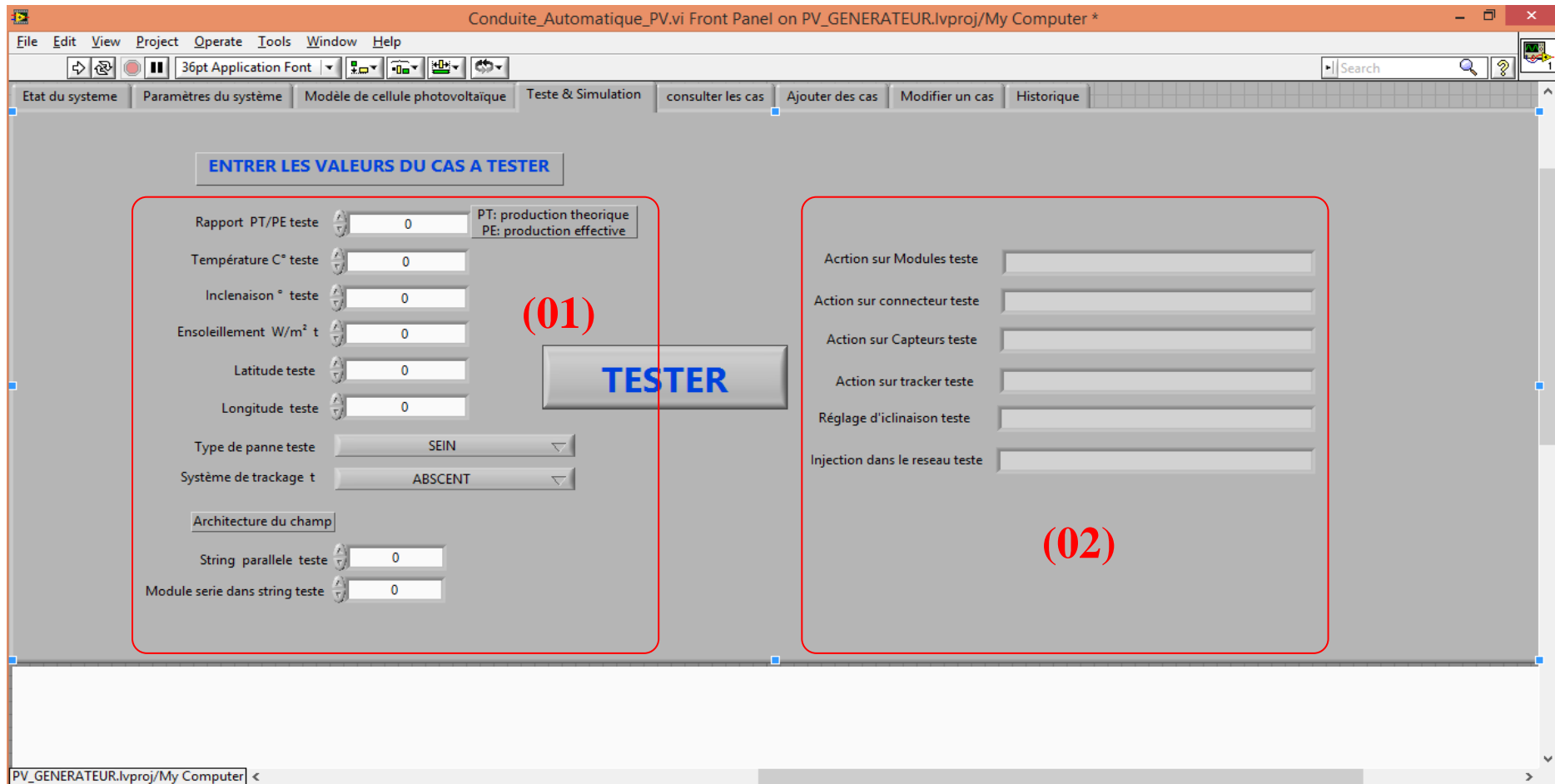


Fig.A.4. L'onglet test & simulation

## 5. L'onglet consultation des cas

Cet onglet affiche tous les cas de la base de cas dans un tableau.

N°	Rapport PE/PT	Température	Inclinaison	Ensoleillement	Latitude	Longitude	Type de panne	Système de tracking	Nombre de strings en parallèles	module en série dans un string	Action sur Modules	Action sur connecteur	Action sur Capteur
case0.xml	0,60	32,00	23,50	650,00	35,42	6,35	2,00	0,00	10,00	80,00	1,00	0,00	0,00
case1.xml	0,60	32,00	23,50	650,00	35,42	6,35	1,00	0,00	10,00	80,00	0,00	2,00	0,00
case2.xml	0,60	32,00	23,50	650,00	35,42	6,35	3,00	0,00	10,00	80,00	2,00	0,00	0,00
case3.xml	0,72	32,00	23,50	650,00	35,42	6,35	0,00	0,00	10,00	80,00	0,00	0,00	0,00
case4.xml	0,72	32,00	23,50	650,00	35,42	6,35	0,00	1,00	10,00	80,00	0,00	0,00	0,00
case5.xml	0,72	32,00	23,50	650,00	35,42	6,35	0,00	2,00	10,00	80,00	0,00	0,00	0,00
case6.xml	0,65	25,00	23,50	750,00	35,42	6,35	0,00	1,00	10,00	80,00	0,00	0,00	0,00

Fig.A.5. L'onglet liste des cas

## 6. L'onglet Ajouter un cas

Cet onglet contient un formulaire qui permet de saisir les attributs d'un cas ensuite enregistrer le cas dans la base de cas

The screenshot shows a software window titled "Conduite\_Automatique\_PV.vi Front Panel on PV\_GENERATEUR.lvproj/My Computer \*". The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Project, Operate, Tools, Window, Help) and a toolbar with various icons. Below the toolbar is a tabbed interface with the following tabs: "Etat du systeme", "Paramètres du système", "Modèle de cellule photovoltaïque", "Teste & Simulation", "consulter les cas", "Ajouter des cas" (selected), "Modifier un cas", and "Historique".

The "Ajouter des cas" tab contains a form with the following fields and controls:

- Report PT/PE: Spinners for PT (0) and PE (0). Legend: PT: production theorique, PE: production effective.
- Température C°: Spinner (0).
- Inclinaison °: Spinner (0).
- Ensoleillement W/m²: Spinner (0).
- Latitude: Spinner (0).
- Longitude: Spinner (0).
- Type de panne: Dropdown menu (SEIN).
- Système de trackage: Dropdown menu (ABSENT).
- Architecture du champ: Section header.
- Nombre de string en parallèle: Spinner (0).
- Nombre de module en serie dans un string: Spinner (0).
- Action sur Modules: Dropdown menu (NON).
- Action sur connecteur: Dropdown menu (NON).
- Action sur Capteurs: Dropdown menu (NON).
- Action sur tracker: Dropdown menu (NON).
- Réglage d'inclinaison: Dropdown menu (NON).
- Injection dans le reseau: Dropdown menu (NON).
- Ajouter: Large button with the text "Ajouter" in purple.

The status bar at the bottom left shows "PV\_GENERATEUR.lvproj/My Computer <".

Fig.A.6. L'onglet Ajouter un cas

## 7. L'onglet modifier un cas

Dans cet onglet on spécifie le numéro du cas à modifier et on saisit toutes les informations de ce dernier

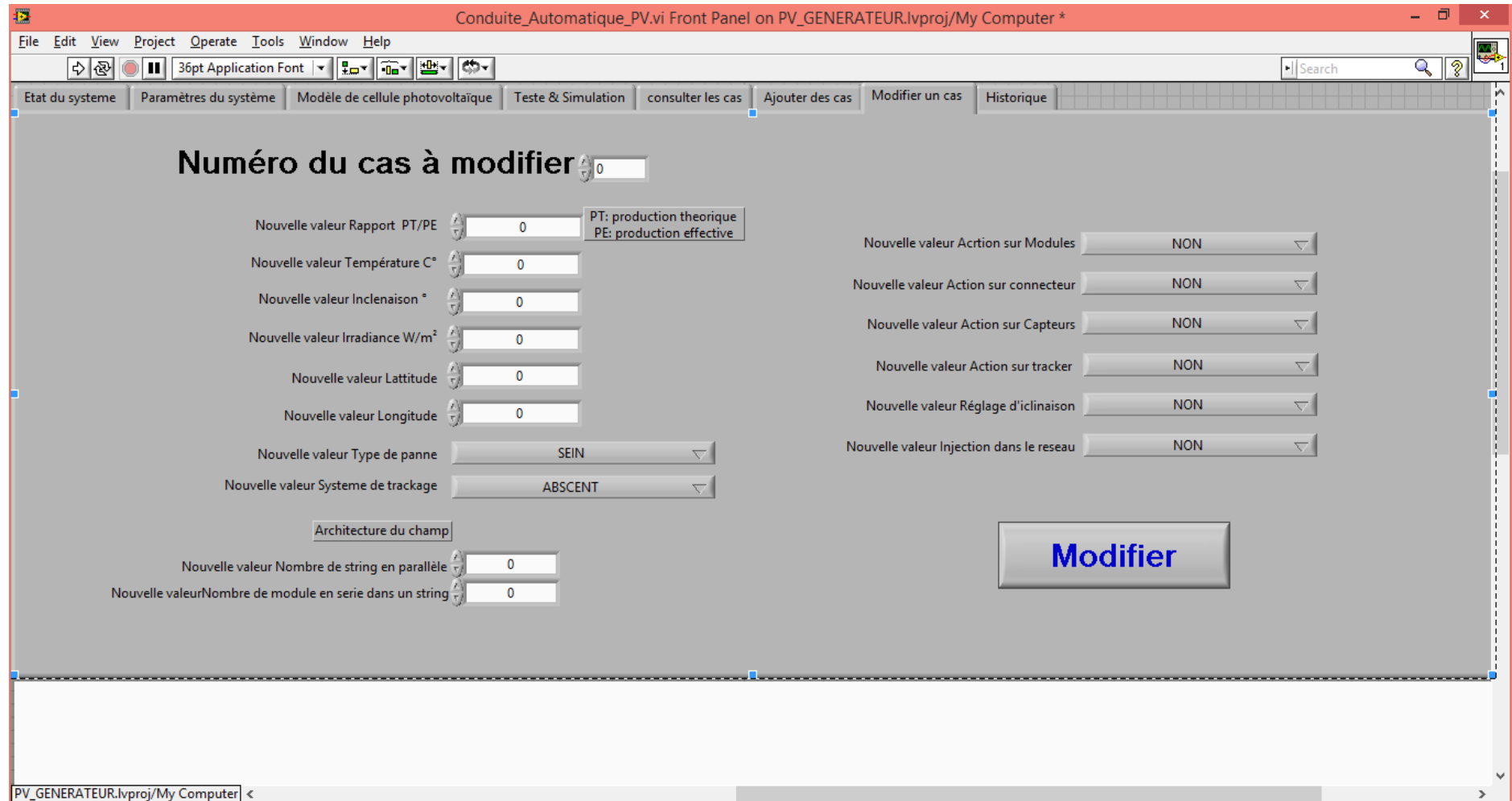


Fig.A.7. L'onglet Modifier un cas

## 8. L'onglet historique

Cet onglet affiche les actions effectuées par le système en leur associant la date et les informations du système

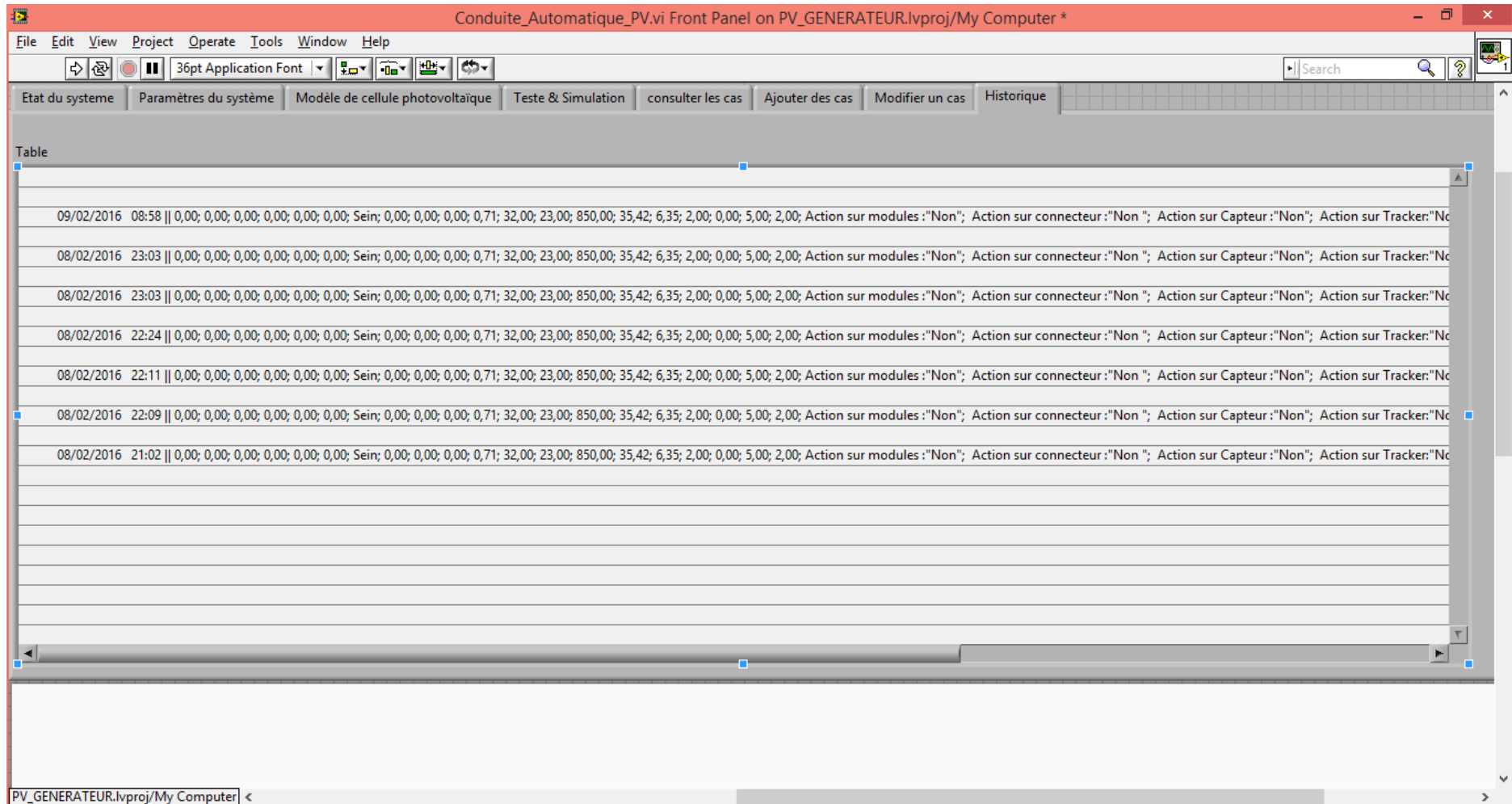


Fig.A.8. L'onglet historique