



N° d'ordre : 29/2017

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr : Mohamed Ramadany

Spécialité : **Génie Industriel**

Sujet de la thèse : **Mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents : application à la maintenance prévisionnelle.**

Thèse présentée et soutenue le 18 / 07 /2017 devant le jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Abdellatif SAFOUANE	P.E.S	INSA - UEM de Fès	Président
Said ELFEZAZI	P.E.S	EST – Safi	Rapporteur
Ahmed MOKHLIS	P.H	EST – Safi	Rapporteur
Mohammed ELHAMMOUMI	P.E.S	FST - Fès	Rapporteur
Abdennebi TALBI	P.E.S	EST - Fès	Examineur
Said BOUTAHARI	P.H	EST - Fès	Examineur
Driss AMEGOUZ	P.E.S.	EST - Fès	Directeur de thèse

Laboratoire d'accueil : Productique, Energétique et Développement Durable
Etablissement : Ecole Supérieure de Technologie Fès.



Remerciements

Mes remerciements les plus sincères iront, en premier lieu, à mon directeur de thèse, Monsieur Driss Amegouz. Je lui suis extrêmement reconnaissant pour la disponibilité, pour les conseils prodigués et pour le suivi particulier dont il a fait preuve pendant les phases de recherche et de rédaction de la présente thèse.

Il m'est agréable d'exprimer également ma profonde gratitude à Monsieur le professeur Abdellatif Safouane de l'INSA-UEM de Fès, d'avoir accepté d'être le président du jury de cette thèse. Il m'a fait l'honneur par sa présence.

Mes remerciements s'adressent ensuite aux membres du jury qui me font l'honneur de participer à la soutenance. Je remercie sincèrement Messieurs les professeurs Said El Fezazi et Ahmed Mokhlis de l'école supérieure de Technologie de Safi, ainsi que le professeur Mohammed El Hammoumi de la faculté des sciences et techniques de Fès, pour avoir accepté d'évaluer mes travaux en qualité de rapporteurs. Mes remerciements s'adressent également à Messieurs les professeurs Abdennebi Talbi et Said Boutahari de l'école supérieure de technologie de Fès, pour leur participation au jury en tant qu'examineurs de cette thèse.

Cette thèse est à la mémoire de ma grande mère Kenza et ma maman Fettouma qui nous ont quittées et que j'aurais aimé qu'elles assistent à ma soutenance. Un grand merci à mon grand-père El Khammar, sans oublier mes chères tantes, et spécialement ma tante Touria, qui a cru en moi et m'a encouragé sans cesse depuis mon jeune âge.

Je ne saurais terminer sans une pensée pour ma grande famille et pour mes proches sans qui je n'aurais jamais pu arriver jusque-là. Enfin, je remercie tout particulièrement mon épouse Fatima Zahrae, celle qui a toujours cru en moi et qui m'a apporté durant ces quelques années son aide et son réconfort, et qui n'a cessé jamais de m'encourager, et de me supporter malgré mes sautes d'humeur. Cette thèse est dédiée à mes deux adorables filles Jihane et Joudya.

Résumé de la Thèse

L'approche contemporaine de la maintenance vise à remplacer les politiques de maintenance classiques à savoir corrective et systématique par une politique de maintenance prévisionnelle. Celle-ci consiste à utiliser les données provenant de multiples sources, notamment des capteurs déployés sur les systèmes de production. Grâce à sa capacité d'analyser à froid, cette stratégie de maintenance permet d'anticiper les défaillances, afin d'éviter d'en subir les conséquences qui nuisent aux performances de l'entreprise industrielle, et par conséquent au développement durable à l'échelle macroscopique. Afin de garantir cette migration, les systèmes classiques de surveillance sont inconvenables à cause de leurs limitations et cèdent la place aux systèmes de télésurveillance intelligents. En effet, ces limitations sont accentuées par le fait que le système de production se trouve dans un environnement dynamique.

D'autre part, l'essor et l'émergence des technologies des capteurs intelligents ces dernières années, ainsi que le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication, ont contribué à la migration vers de tels systèmes. Cependant, la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents est une démarche exigeante et complexe.

Dans ce contexte, ce manuscrit vise dans un premier temps, à faire un diagnostic et à définir les états des lieux relatifs à l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents dans les entreprises marocaines. L'objectif est d'établir des points de repères et d'appréhender les verrous scientifiques qui sont considérés comme des entraves pour la mise en œuvre de ce système. D'autre part, nous allons proposer une démarche générique pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Cette démarche consiste à définir les différentes étapes, et à élaborer les procédures qui s'y rattachent, ce qui présente un intérêt majeur pour les industriels. Finalement, nous allons mettre le point sur notre contribution pour la conception d'un système de télésurveillance.

Mots clés : Maintenance prévisionnelle, système de télésurveillance, capteurs intelligents, diagnostic, verrous scientifiques, démarche, conception.

Abstract

The modern approach of maintenance aims to replace conventional maintenance policies, such as corrective and systematic maintenance, with a predictive maintenance policy. This involves using data from multiple sources, including sensors deployed on production systems. Thanks to its ability to analyze cold, this maintenance strategy makes it possible to anticipate failures, in order to avoid suffering the consequences that hinder the performance of the industrial company and, consequently, sustainable development in macroscopic scale. In order to guarantee this migration, conventional monitoring systems are inconvenient because of their limitations and give way to intelligent remote monitoring systems. Indeed, these limitations are accentuated by the fact that, the production system is in a dynamic environment.

In the other hand, the rise and the emergence of smart sensor technologies in recent years, as well as the development of new information and communication technologies, have contributed to the migration to such systems. However, implementing a remote monitoring system based on smart sensors is a demanding and complex process.

In this context, this manuscript aims initially, to make the first diagnosis of the state of integration remote monitoring system based on smart sensors in Moroccan firms. The objective is to assess locks and issues, and establish landmarks for industrialists and service providers. On the other hand, we will propose a generic approach for the implementation of a remote monitoring system based on intelligent sensors. This involves defining the various steps and developing the related procedures, which is of major interest to manufacturers. Finally, we will focus on our contribution to the design of a remote monitoring system.

Keywords: Predictive maintenance, remote monitoring system, smart sensors, diagnostics, scientific locks, approach, design.

Table des matières

Introduction Générale	13
Chapitre 1 : Contexte et cadre général de la thèse	16
1.1. Introduction.....	17
1.2. Contexte général de la thèse	17
1.3. Cadre et problématiques de la thèse.....	21
1.4. Conclusion	25
Chapitre 2 : Surveillance et capteurs intelligents : Etat d'art	26
2.1. Introduction.....	27
2.2. La surveillance et ses fonctions principales.....	27
2.3. Les méthodologies de surveillance	29
2.3.1. Méthodologie avec modèle du système	29
2.3.2. Méthodologies sans modèle du système	30
2.3.2.1. Surveillance avec des outils statistiques.....	30
2.3.2.2. Surveillance avec les outils de l'intelligence artificielle.....	30
2.4. Etat d'art de la surveillance par l'intelligence artificielle.....	35
2.5. Capteurs intelligents et domaines d'application	39
2.5.1. Capteurs intelligents.....	39
2.5.2. Réseau de capteurs intelligents	42
2.5.3. Topologie des réseaux de capteurs	44
2.5.4. Architecture protocolaire	46
2.5.5. Domaines d'application de réseaux de capteurs intelligents	49
2.5.6. Etat d'art de l'utilisation des capteurs intelligents en monitoring industriel	52
2.6. Conclusion	56
Chapitre 3 : Analyse fonctionnelle et diagnostic de l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents	57
3.1. Introduction.....	58
3.2. Définitions de la télésurveillance et de ses fonctions	58
3.3. Analyse fonctionnelle d'un système de télésurveillance	62
3.4. Verrous de l'intégration et du déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.....	66
3.4.1. Verrou technique.....	67
3.4.2. Verrou financier	67
3.4.3. Verrou juridique.....	68
3.4.4. Verrou d'éthique	68
3.4.5. Verrou lié à la réticence et à la résistance au changement.....	68
3.4.6. Verrou de nouvelles compétences	69
3.4.7. Verrou de fusion et de croisement des données.....	69

3.5. Démarche de l'enquête	71
3.5.1. Définition des axes du questionnaire	71
3.5.1.1. Identification de l'entreprise	71
3.5.1.2. Accès à internet et usage des supports matériels de l'informatique.....	71
3.5.1.3. Données concernant la maintenance au sein de l'entreprise	71
3.5.1.4. Connaissances et informations relatives à un système de télésurveillance.	72
3.5.1.5. Apports techniques	72
3.5.1.6. Usage des capteurs intelligents	72
3.5.1.7. Aspects économiques	72
3.5.1.8. Verrous liés à la mise en œuvre d'un système de télésurveillance	72
3.6. Outil statistique	73
3.7. Analyse et interprétation des résultats	74
3.8. Tri à plat.....	75
3.8.1. Secteur d'activité	75
3.8.2. Statut des entreprises.....	76
3.8.3. Taille de l'entreprise et statut hiérarchique des répondants.....	76
3.8.4. Accès à Internet et matériel informatique mobile.....	77
3.8.5. Données générales de la maintenance.....	78
3.8.6. Propriétés du système de télésurveillance.....	79
3.8.7. Apports techniques du système de télésurveillance.....	81
3.8.8. Connaissance capteurs intelligents	81
3.9. Analyse des freins et obstacles	82
3.9.1. Obstacles de connexion mobile	82
3.9.2. Obstacles et freins de l'intégration et du déploiement.....	84
3.10. Synthèse et discussions	85
3.10.1. Absence d'une décision stratégique.....	87
3.10.2. Obstacles techniques.....	87
3.10.3. Effort de l'entreprise pour la recherche de nouvelles compétences	88
3.10.4. Incertitude et fiabilité des données de la mesure	89
3.10.5. Hétérogénéité et fusion des données.....	90
3.10.6. Risque lié à la sécurité de la connexion sans fil.....	91
3.10.7. Absence d'une démarche pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.....	93
3.11. Conclusion	94
Chapitre 4 : Proposition d'une démarche pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance.	96
4.1. Introduction.....	97
4.2. Définition des étapes et des procédures	97
4.2.1. Engagement de la direction.....	97
4.2.2. Désignation d'un chef de projet.....	98
4.2.3. Etat des lieux.....	100

4.2.3.1. Cartographie des compétences	100
4.2.3.2. Choix des équipements critiques	102
4.2.4. Faisabilité	104
4.2.5. Cahier des charges	106
4.2.5.1. Choix des paramètres significatifs du système	106
4.2.5.2. Typologie de capteurs à installer	107
4.2.5.3. Positionnement des capteurs	108
4.2.5.4. Architecture du réseau de capteurs et scénarios d'applications	111
4.2.5.5. Choix du protocole de communication	113
4.2.5.6. Gestion du niveau d'urgence	115
4.2.5.7. Etablissement des algorithmes d'apprentissage, de traitement et de diagnostic	117
4.2.5.8. Emplacement de la salle de télésurveillance	119
4.2.6. Déploiement	119
4.2.7. Système information et gestion d'interfaces de visualisation	119
4.2.8. Construire une plateforme de développement métier et de formation	121
4.2.9. Evaluation et amélioration continue	123
4.3. Conclusion	126
Chapitre 5 : Contribution à la conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents	127
5.1. Introduction	128
5.2. Architecture générale	128
5.3. Les sous-systèmes du système d'information	131
5.4. Architecture réseau d'un système de télésurveillance	133
5.5. Modélisation fonctionnelle de TELESYS	134
5.5.1. Langage UML	134
5.5.2. Contexte du système TELESYS	136
5.5.3. Acteurs du système de télésurveillance	136
5.5.4. Diagramme de contexte	139
5.5.5. Diagramme de packages	139
5.5.6. Diagrammes des cas d'utilisation	140
5.5.6.1. Sous système : Réseau de capteurs intelligents	140
5.5.6.2. Sous système : Système de base de données	141
5.5.6.3. Sous système : Système d'analyse de données	141
5.5.6.4. Sous système : Interfaces	142
5.5.6.5. Sous système : Système de communication et de messagerie	142
5.5.7. Diagramme de séquence	143
5.6. Architecture système de l'application TELESYS	144
5.7. Interfaces de visualisation et de gestion	147
5.7.1. Application temps réel	147
5.7.2. Application Web	148

5.8. Interfaces de l'application TELESYS.....	149
5.8.1. Interfaces d'authentification et de gestion d'utilisateurs	149
5.8.2. Interface Manager du système de télésurveillance	150
5.8.3. Interface Responsable du service de maintenance.....	150
5.8.4. Interface Opérateur de maintenance	151
5.8.5. Interface Exploitant.....	151
5.9. Conclusion	152
Conclusions et Perspectives	153
I. Conclusions	154
II. Perspectives.....	156
Bibliographie	158
Annexes	167
I. Travaux scientifiques réalisés.....	168
II. Questionnaire de l'enquête	170
III. Outils de développement de l'application TELESYS	174
III.1. Base de données SQL SERVER	174
III.2. Architecture .Net pour les interfaces	175

Liste des figures

Figure 1.1 : Cadre et périmètre de la thèse.....	21
Figure 1.2 : Positionnement du travail de thèse.....	22
Figure 2.1 : Fonctions principales de la surveillance.....	28
Figure 2.2 : Réseau de neurones.....	33
Figure 2.3 : Système expert.....	34
Figure 2.4 : Capteurs intelligents.....	39
Figure 2.5 : Constitution d'un nœud capteur.....	42
Figure 2.6 : Représentation d'un réseau de capteurs intelligents.....	44
Figure 2.7 : Champs d'applications de réseau de capteurs intelligents.....	50
Figure 2.8 : Eclisse pour rail de chemin de fer.....	54
Figure 3.1 : Description d'un système de télésurveillance.....	61
Figure 3.2 : Eléments environnementaux d'un système de télésurveillance.....	62
Figure 3.3 : Diagramme pieuvre d'un système de télésurveillance.....	63
Figure 3.4 : Diagramme FAST d'un système de télésurveillance.....	65
Figure 3.5 : Fusion de données et prise de décision.....	70
Figure 3.6 : Logiciel Sphinx Plus2.....	73
Figure 3.7 : Extrait du Tableau de bord.....	74
Figure 3.9 : Secteur d'activité des entreprises de l'enquête.....	75
Figure 3.10 : Statut des entreprises.....	76
Figure 3.11 : Taille des entreprises et statut hiérarchique des répondants.....	77
Figure 3.12 : Accès Internet, réseau et matériel informatique mobile.....	77
Figure 3.13 : Type de matériel informatique.....	78
Figure 3.14 : Forme de la maintenance.....	78
Figure 3.15 : Données relatives à la maintenance.....	79
Figure 3.16 : Technologie des capteurs.....	79
Figure 3.17 : Considération du système de télésurveillance.....	80
Figure 3.18 : Aspects généraux sur le système de télésurveillance.....	80
Figure 3.19 : Connaissance protocoles de communication.....	82
Figure 3.20 : Critères de choix.....	82
Figure 3.21 : Obstacles de connexion mobile.....	83
Figure 3.22 : Aspects relatifs au système de télésurveillance.....	84

Figure 4.1 : Procédure désignation chef de projet.....	99
Figure 4.2 : Procédure cartographie des compétences.....	101
Figure 4.3 : Procédure choix des équipements critiques.....	103
Figure 4.4 : Procédure de faisabilité.....	105
Figure 4.5 : Procédure choix des paramètres significatifs.....	107
Figure 4.6 : Procédure typologie de capteurs.....	108
Figure 4.7 : Procédure positionnement de capteurs.....	110
Figure 4.8 : Procédure architecture du réseau et scénarios d'application.....	112
Figure 4.9 : Procédure choix de protocole de communication.....	114
Figure 4.10 : Procédure gestion du niveau d'urgence.....	116
Figure 4.11 : Procédure établissement des algorithmes d'apprentissage.....	118
Figure 4.12 : Procédure système d'information.....	120
Figure 4.13 : Procédure plateforme de développement métier et formation.....	122
Figure 4.14 : Procédure d'évaluation et d'amélioration continue.....	124
Figure 4.15 : Démarche générique d'un système de télésurveillance.....	125
Figure 5.1 : Architecture générale d'un système de télésurveillance.....	130
Figure 5.2 : Architecture réseau d'un système de télésurveillance.....	134
Figure 5.3 : Diagramme de contexte de l'application TELESYS.....	139
Figure 5.4 : Diagramme de packages de l'application TELESYS.....	140
Figure 5.5 : Diagramme de cas d'utilisation de réseau de capteurs intelligents.....	140
Figure 5.6 : Diagramme de cas d'utilisation de base de données.....	141
Figure 5.7 : Diagramme de cas d'utilisation de système d'analyse.....	141
Figure 5.8 : Diagramme de cas d'utilisation des interfaces.....	142
Figure 5.9 : Diagramme de cas d'utilisation du système de messagerie et de communication.....	142
Figure 5.10 : Exemple de diagramme de séquence pour la modification d'un capteur.....	143
Figure 5.11 : Exemple de diagramme de séquence pour le cycle de données.....	143
Figure 5.12 : Architecture système de l'application de télésurveillance.....	145
Figure 5.13 : Couches d'un système de télésurveillance.....	146
Figure 5.14 : Interface temps réel.....	148
Figure 5.15 : Interface Web.....	148
Figure 5.16 : Interface d'authentification.....	149
Figure 5.17 : Interface gestion d'utilisateurs.....	149
Figure 5.18 : Interface relative au manager du système.....	150
Figure 5.19 : Interface relative au responsable du service de maintenance.....	150
Figure 5.20 : Interface relative à l'opérateur de maintenance.....	151
Figure 5.21 : Interface relative à l'exploitant.....	151

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Topologie réseau de capteurs.....	45
Tableau 2.2 : Protocoles de communication.....	48
Tableau 2.3 : Champs d'application réseau de capteurs.....	51
Tableau 3.1 : Fonctions principales et fonctions contraintes d'un système de télésurveillance.....	64
Tableau 3.2 : Secteur d'activité.....	75
Tableau 3.3 : Apports techniques.....	81
Tableau 3.4 : Obstacles et freins.....	85
Tableau 3.5 : Synthèse de l'enquête.....	85
Tableau 3.6 : Principaux obstacles.....	86

Lexique

A

AFNOR : Association Française de Normalisation ;

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités.

ANN : Artificial Neural Network.

C

CAPEX: Capital Expenditure.

CLR: Common Language Runtime.

COP: COnférences des Parties.

D

DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency.

DSN: Distributed Sensor Networks.

F

FAST: Functional Analysis System Technic.

FC: Fonction Contrainte.

FP: Fonction Principale.

G

GPS: Global Positioning System.

GMAO: Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur.

GPAO: Gestion de la production Assistée par Ordinateur.

H

HTTPS: HyperText Transfer Protocol Secure.

I

IHM: Interface Homme Machine.

L

LCS: Link Care Services.

M

MLP: Multi Layer Perceptron.

MT: Moyenne Tension.

N

NTIC: Nouvelles Technologies de l'information et de Communication.

O

OMG: Object Management Group

OPEX: Operating Expenditure.

P

PDA: Personal Digital Assistant.

PNN: Probabilistic neural network.

R

RBF: Radial Basis Function.

S

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition.

SensIT: *Sensor* Information Technology.

SNCF: Société Nationale des Chemins de Fer.

SVM: Support Vector Machines.

U

UML: Unified Modeling Language.

V

VPC: Virtual Private Cloud.

W

WIFI : Wireless Fidelity.

WPT : Wavelet Packet Transform.

X

XML : eXtensible Markup Language.

Introduction Générale

Les usines modernes d'aujourd'hui adoptent une approche qui vise à migrer des politiques de maintenance classiques à savoir : corrective et systématique vers une politique de maintenance prévisionnelle. Cette migration est justifiée par les limitations observées des stratégies classiques de maintenance. Celles-ci se traduisent comme suit :

- Arrêts fréquents de production ;
- Consommation excessive des pièces de rechanges ;
- Coûts élevés d'indisponibilité ;
- Interventions mal faites dans l'urgence et sans préparation, ni planification ;
- Atteinte à la sécurité des équipements et des opérateurs ;
- Les défaillances ne sont pas totalement évitables, même avec un changement de la totalité des composants.

D'autre part, ces limitations sont accentuées par le fait que le système de production se trouve dans un environnement dynamique. Ce dernier est caractérisé par : des reconfigurations fréquentes suite à la demande de la production, une évolution permanente de son environnement, et l'apparition sur le marché de nouvelles technologies, ainsi que le vieillissement inéluctable des composants des machines constituant le système de production.

De ce fait, les stratégies classiques de maintenance sont inconvenables, d'où la nécessité d'instaurer une stratégie de maintenance prévisionnelle. Celle-ci est basée sur le suivi et l'analyse de la tendance des évolutions des paramètres significatifs de fonctionnement, en continu et en temps réel. En effet, au lieu d'attendre les défaillances, nous cherchons des signes coureurs de celles-ci. Grâce à son aspect d'analyser à froid, elle permet d'anticiper les défaillances, afin d'éviter d'en subir les conséquences qui nuisent aux performances de l'entreprise industrielle, et par conséquent au développement durable à l'échelle macroscopique.

Les données à traiter et à analyser, proviennent de multiples sources, notamment des capteurs embarqués sur ces systèmes de production. En effet, ces systèmes peuvent être équipés de nombreux capteurs qui surveillent et mesurent en continu les vibrations, la chaleur émise, le bruit sonore, la pression, et bien d'autres paramètres significatifs de fonctionnement, ce qui présente des opportunités intéressantes pour la maintenance prévisionnelle.

Ainsi, cette migration vers une politique de maintenance prévisionnelle, fait appel à des moyens technologiques et des outils d'aide à la prise de décision. De plus, l'émergence des NTIC, ainsi que l'essor et le développement des capteurs intelligents grâce notamment aux derniers développements réalisés dans le domaine des technologies sans fil, ont fait instaurer et privilégier la surveillance à distance définie par la télésurveillance.

La vocation majeure d'un système de télésurveillance, est de permettre à un professionnel de maintenance d'anticiper et de prendre une décision au niveau des actions à entreprendre, afin de n'intervenir que lorsque le suivi de certains paramètres transmis par les capteurs, l'exige. Pour répondre à cette vocation, un système de télésurveillance nécessite un réseau de capteur, afin d'observer, d'analyser et de contrôler en temps réel les systèmes de production.

Cependant, la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents est une démarche exigeante et complexe dans la mesure où ce système implique :

- Des compétences multiples : métiers, NTIC, métrologie, instrumentation, etc... ;
- Des choix technologiques : protocoles de communication, typologie et technologie de capteurs, stockage de données, etc... ;
- Des contraintes multiples : consommation d'énergie, fiabilité, sécurité des données, hétérogénéité des données, etc.

Nous avons structuré ce document en cinq chapitres ; dont le premier chapitre présente le contexte et le cadre général de cette thèse.

En ce qui concerne le deuxième chapitre, il présente les notions de surveillance et de capteurs intelligents, ainsi qu'un état d'art d'une part, de la surveillance basée sur les outils de l'intelligence artificielle, et d'autre part de l'éventail des applications des capteurs intelligents, notamment en monitoring industriel.

Dans le troisième chapitre, nous allons faire une analyse fonctionnelle, ainsi qu'un diagnostic de l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. En effet, l'analyse fonctionnelle, est un outil générique d'aide à la conception d'un système de télésurveillance, dans la mesure où elle permet de synthétiser les besoins et les exigences fonctionnelles auxquels répond un tel système. La finalité de la seconde partie de ce chapitre est de mettre en valeur les résultats de l'enquête menée auprès des entreprises marocaines, qui opèrent dans différents secteurs. En effet notre contribution vise à faire un diagnostic de l'intégration et du déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, dans le milieu industriel marocain. Ceci dans le but d'avoir des points de repères vis-à-vis de l'intégration d'un tel système, et de mettre le point sur les verrous scientifiques et les barrières qui pourraient constituer une entrave pour sa mise en œuvre.

Ensuite, dans le quatrième chapitre, nous présenterons notre démarche globale pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Cette démarche est constituée de plusieurs étapes et de procédures qui s'y rattachent, afin de formaliser un guide. Ce qui présente un intérêt majeur pour les industriels.

Quant au cinquième chapitre de ce manuscrit, il est consacré à notre contribution pour la conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, selon une approche fonctionnelle. L'objectif est de présenter l'architecture matérielle et logicielle mises en œuvre pour répondre aux spécifications établies. Cette conception passe par une modélisation avec le langage UML. Elle doit tenir compte de la chaîne de télésurveillance, à savoir : le système de production, le réseau de capteurs, l'entrepôt des données, les sources complémentaires de données, ainsi que le système de communication et de messagerie.

Enfin, de l'ensemble des parties traitées dans ce travail, furent tirées les principales conclusions, ainsi que les perspectives proposées.

Chapitre 1

Contexte et cadre général de la thèse

1.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre introductif, est de situer notre travail de recherche, en présentant un cadre général de notre contribution. En plus, ce chapitre met l'accent sur les problématiques évoquées par ce travail de thèse, tout en délimitant les périmètres de notre apport scientifique.

1.2. Contexte général de la thèse

Les exigences industrielles et économiques actuelles, ainsi que les nouvelles préoccupations sociales et environnementales projettent les entreprises industrielles dans une course effrénée, à la recherche d'axes d'optimisation et d'amélioration.

Ces axes sont jalonnés par l'émergence de la notion de durabilité. Celle-ci oblige les industriels à intégrer le concept de développement durable dans leur stratégie de développement et de recherche de performance.

La question de développement durable est le reflet d'une véritable interrogation de l'opinion publique au sujet de l'avenir de la planète [1].

Pour rester compétitives, les entreprises marocaines sont aussi concernées par ce concept et doivent s'inscrire dans l'action. D'autant plus que la COP22 a été organisée au Maroc, en Novembre 2016. La COP 22 a pris le relais d'une COP 21, au cours de laquelle des avancées importantes ont été enregistrées. Cette COP 22 organisée à Marrakech avait comme objectif, de concrétiser les différents axes retenus dans l'accord de Paris, notamment ceux qui ont trait à l'adaptation, la transparence le transfert de technologies et le renforcement des capacités. Il s'agit également de préserver la durabilité des modèles de développement [2].

Placé au cœur de l'entreprise, le processus de production revêt un caractère critique et stratégique indiscutable [3], puisqu'il génère une part importante de la valeur ajoutée de l'entreprise industrielle. D'autre part, le processus de production a un impact direct sur le développement durable, dans la mesure où le système de production est le principal contribuable des résultats financiers de l'entreprise. De plus, il induit des préoccupations sociales puisque du personnel est lui affecté. Enfin, sur le plan environnemental, le système de production est consommateur d'énergie et de matières premières. Il est aussi responsable des déchets et autres polluants.

Cependant, ce système de production se trouve souvent dans un environnement dynamique caractérisé par :

- Une évolution continue de l'environnement ;
- Des reconfigurations fréquentes du système de production ;
- Un vieillissement des composants ;
- Une émergence de nouvelles technologies.

D'autre part, le professionnel de la maintenance n'est pas toujours dans un état mental réceptif, dans un environnement dynamique à cause d'être à la fois :

- Face à un système complexe, multivariables, composé d'éléments aux interactivités nombreuses ;
- Sous des contraintes d'efficience des tâches de la maintenance, de sécurité collatérale (personnel et équipements), et d'urgence de prise de décision.

Dans ce contexte les stratégies classiques de la maintenance dites aussi statiques, à savoir corrective et systématique, peinent à suivre l'état du système de production à cause de la nécessité de la prise en compte de cette dimension dynamique.

Ainsi, une migration vers d'autres stratégies de maintenance s'impose. L'objectif est de prendre en considération la dynamique d'évolution du système de production et de son environnement, afin d'anticiper les défaillances dans le cadre d'une approche proactive, et de faciliter la prise de décision pour une meilleure réactivité pour le professionnel de la maintenance.

C'est dans ce cadre que la maintenance prévisionnelle se positionne comme la politique la plus convenable aux exigences précédentes. En effet, La maintenance prévisionnelle caractérise les prévisions en matière d'actions de la maintenance à entreprendre en fonction de la tendance d'évolution du dysfonctionnement détecté et de l'estimation du fonctionnement correct qui subsiste. En d'autres termes, elle consiste à surveiller le système et de son environnement afin de réagir en cas d'apparition de signes coureurs de dégradation de fonctionnement, pour éviter d'en subir les conséquences.

Ainsi la migration vers la maintenance prévisionnelle présente les avantages suivants :

- Adaptation à l'environnement dynamique du système ;
- Diminution des stocks des pièces de rechange et diminution de leurs coûts par des achats juste à temps ;
- Optimisation des tâches de la maintenance ;
- Augmentation de la disponibilité par l'anticipation des signes coureurs de défaillance ;
- Réduction du nombre de défaillances imprévues ;
- Suppression d'actions de maintenance inutiles ;
- Amélioration de la sécurité des équipements et du personnel par la suppression d'incidents critiques pouvant évoluer à des accidents graves ;
- Meilleure surveillance des systèmes en temps réel d'où la possibilité de corriger les erreurs de conduite ou des anomalies mineurs pouvant dégénérer.

Il y a quelques dizaines d'années, la mise en œuvre de la maintenance prévisionnelle était une tâche extrêmement complexe à cause du manque d'instrumentation du système physique et de l'impossibilité d'observer et de diagnostiquer la quasi-totalité des dégradations [4]. De plus la supervision classique ne permet pas de favoriser cette migration, dans la mesure où elle présente les limitations suivantes :

- Les distances séparant les écrans d'affichage dans la salle de supervision rendent l'opération de contrôle plus délicate et pénible ;
- Un flux important d'informations inutiles ou de faible intérêt sont présentées aux opérateurs de surveillance ;
- La mobilité des opérateurs de surveillance et de maintenance est limitée à la salle de surveillance de même pour l'opération de surveillance ;
- Des alarmes jugées sans importance ou un nombre énorme d'alarmes déclenchées simultanément additionnées à un raisonnement erroné peut engendrer des conséquences graves ;
- L'inconvénient de la surveillance par des alarmes est qu'elle ne fournit pas à l'opérateur une image concrète sur le défaut et son origine.

A titre indicatif, une étude britannique « Health and Safety Executive » réalisée sur 13 installations chimiques et centrales de production d'énergie, a montré qu'en fonctionnement normal [5] [6] :

- Un opérateur de supervision reçoit environ 1 alarme toutes les 2 minutes de jour comme de nuit ;
 - 50 % des alarmes sont des répétitions d'alarmes déjà vues dans les 5 minutes précédentes ;
 - Seulement 6% des alarmes sont représentatives de problèmes opérationnels réels ;
- La même étude a révélé qu'en fonctionnement faisant suite à une perturbation :
- 90 alarmes peuvent alors se produire dans la première minute, 70 alarmes dans les 10 minutes qui suivent ;
 - Environ 50% des opérateurs reconnaissent valider (acquitter) des alarmes sans même les comprendre, voire les lire.

Ainsi la surveillance classique s'avère insuffisante et doit céder du terrain à une surveillance intelligente, qui permet de garantir la mobilité aux opérateurs grâce à des technologies de connexion mobile et de remédier aux lacunes d'une surveillance classique. En effet, les progrès continus des technologies de la microélectronique, notamment, celle des capteurs intelligents, ainsi que le développement de l'informatique, ont contribué ces dernières années à l'essor de la télésurveillance.

Le principe de cette technologie émergente, consiste à intégrer et embarquer des capteurs intelligents au niveau des systèmes de production, afin que ceux-ci puissent communiquer et échanger les données en permanence et en temps réel. En effet, la donnée est devenue une véritable mine d'or, de ce 21^{ème} siècle, ce qui a poussé les entreprises industrielles à une course effrénée, pour la récupération des données. Ces données peuvent être valorisées, pour constituer de la valeur ajoutée. En fait, grâce à un ensemble d'outils et de processus, exploitant ces données, les industriels ont une meilleure connaissance de leur environnement, pour une meilleure prise de décision et une réactivité efficiente.

1.3. Cadre et problématiques de la thèse

La mise en œuvre d'un système de télésurveillance d'un système de production à base de capteurs intelligents est une démarche complexe. En effet, cette démarche met en jeu plusieurs systèmes et processus qui se traduisent par :

- Le système de réseau de capteurs intelligents ;
- Le système des outils de traitement et d'analyse prédictive ;
- Le processus de détection et de diagnostic ;
- Le système d'informations ;
- Le processus de prise de décision ;
- Le processus d'optimisation de la maintenance.

Notre sujet de thèse, traite la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents à travers les systèmes et les processus qui s'y rattachent à savoir : le système de réseau de capteurs intelligents, les outils de traitements et d'analyses prédictives, le processus de détection et de diagnostic, le système d'informations ainsi que les processus de prise de décision et d'optimisation de la maintenance.

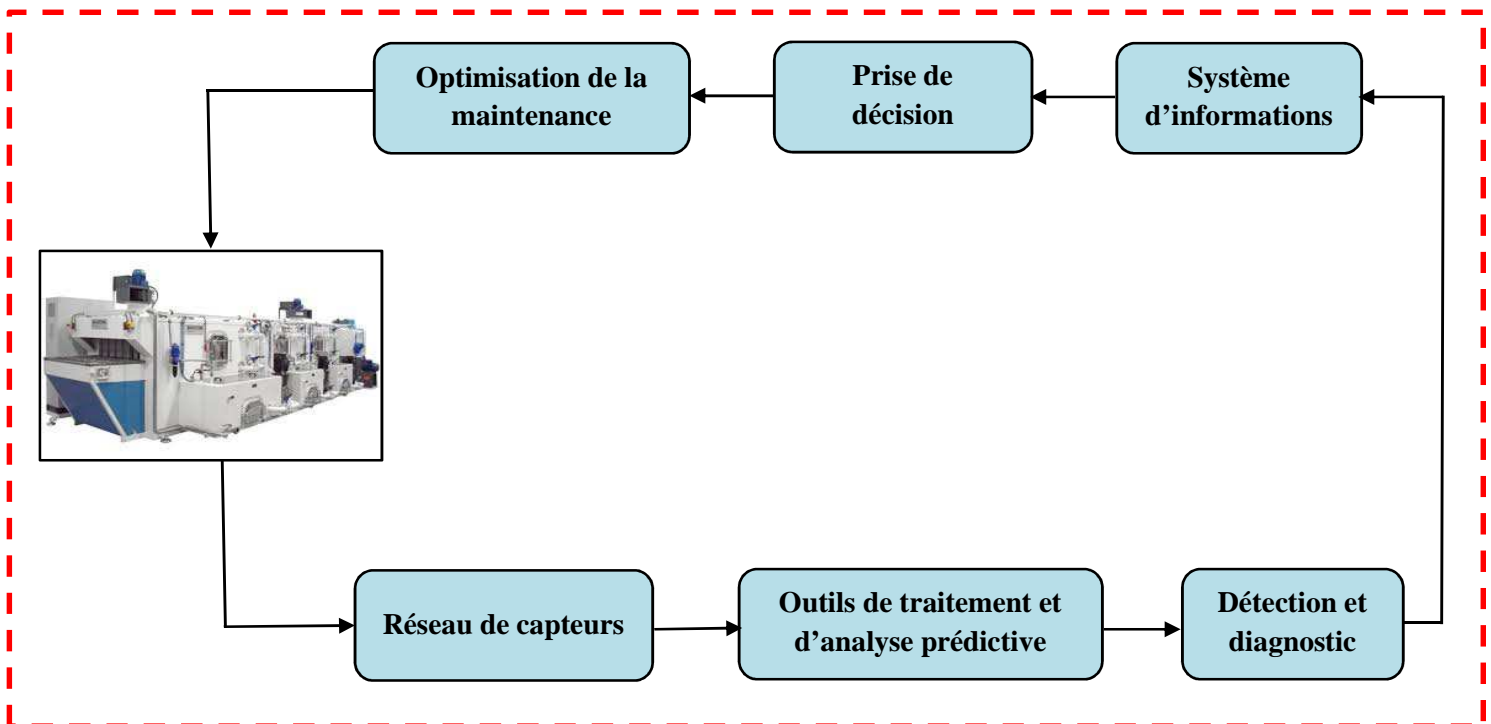


Figure 1.1 : Cadre et périmètre de la thèse.

Notre travail de recherche est induit par les points précédents, ce qui contribue au positionnement de la thèse entre quatre volets scientifiques illustrés par la figure suivante :

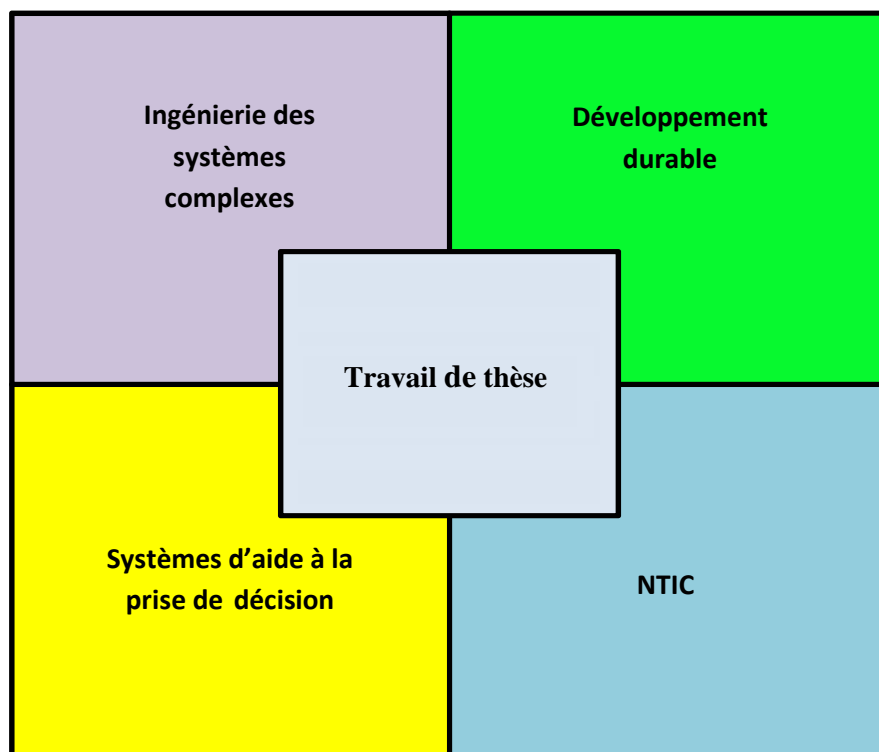


Figure 1.2 : Positionnement du travail de thèse.

Ce positionnement au niveau de ces quatre volets est justifié par ce qui suit :

✓ **Volet du développement durable :**

La recherche d'une triple performance économique, environnementale et sociale, suppose une réflexion sur l'anticipation des risques notamment les risques techniques qui sont les défaillances (comment prévoir ces événements et comment y remédier). En effet, la vocation majeure d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents est d'anticiper, en recherchant des signes coureurs des défaillances tels qu'une variation de température, de pression ou un niveau de vibration, avant que celles-ci dégénèrent. Cette dégénération aurait des percussions néfastes sur les aspects : économique, environnementale et sociale. Ce qui présente une atteinte au développement durable. En fait, les défaillances du système de production sont consommateurs de pièces de rechanges, d'énergie, et par conséquent de plus de matières premières. De plus, ces défaillances peuvent compromettre la sécurité

physique et psychique du personnel de l'entreprise industrielle. Ce qui pourrait remettre en cause la notion du développement durable.

✓ **Volet de l'ingénierie des systèmes complexes :**

La mise en œuvre d'un système de télésurveillance est une tâche rigoureuse dans la mesure où elle exige de formaliser le système afin d'appréhender sa conception. Cette conception passe nécessairement par la définition des besoins et exigences fonctionnelles du système. Ainsi, le recours aux outils de l'ingénierie des systèmes comme l'analyse fonctionnelle est indispensable.

D'une part, la conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents dans sa généralité, entre dans le domaine de la conception des systèmes complexes, hétérogènes et répartis. D'autre part, et en terme de spécifications :

- Le système doit être conçu en relation et en tenant compte de toutes les contraintes imposées par le système de production ;
- Il doit aussi associer des technologies matérielles relatives à la microélectronique, et à la consommation d'énergie, ainsi que logicielles dans la phase de traitement des données et dans les étapes de diagnostic pour la détection de défaillances ;
- Il doit répondre à des exigences particulièrement strictes du point de vue sécuritaire, et pour la gestion des niveaux d'urgence.

L'approche de conception relève donc de l'ingénierie système, laquelle propose des méthodes et des outils dont la mise en œuvre doit d'une part, aider le concepteur à vérifier la conformité de ses propositions par rapport au cahier des charges. D'autre part, faciliter la coordination entre toutes les contributions de conception dans le développement d'un système complexe, tel que le système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

Notre contribution se situe dans cette logique de conception, en s'appuyant sur les outils de l'ingénierie système, dans la mesure où notre travail a pour vocation, la détermination des spécifications du système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, son architecture. Ainsi que l'établissement des différentes étapes nécessaires pour sa mise en œuvre.

✓ **Volet des NTIC :**

Un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, est incapable d'assurer sa fonction principale sans l'intégration des NTIC, en effet la communication entre les capteurs qui constituent le réseau de capteurs se base sur protocoles de communication nécessitant la présence d'un réseau et une technologie sans fil. De plus, un système d'informations est indispensable pour la gestion et l'administration du système de télésurveillance.

✓ **Volet de système d'aide à la prise de décision :**

La finalité d'un système de télésurveillance est de permettre à un professionnel de maintenance de prendre la décision en termes d'actions de maintenance à entreprendre, suite à l'analyse de données issues des capteurs intelligents déployés sur le système de production. En effet, c'est la prise de décision qui conditionne la réactivité du service de la maintenance vis-à-vis des dégradations observées sur le système de production. D'autant plus que le système de production est reconfiguré sans cesse pour s'adapter aux exigences de son environnement, de l'entreprise, et du marché qui devient de plus en plus concurrentiel.

Ainsi, les problématiques évoquées par le travail de thèse se traduisent par :

- L'identification des besoins et exigences fonctionnelles d'un système de télésurveillance ;
- Le diagnostic de l'intégration d'un système de télésurveillance dans l'environnement industriel (verrous & contraintes) : cas des entreprises marocaines ;
- La démarche d'intégration et de déploiement d'un système de télésurveillance ;
- La conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, notamment son système d'informations.

1.4. Conclusion

Dans le cadre de la maîtrise des coûts d'exploitation et afin de rester compétitive, l'entreprise est incitée à rendre fiable son système de production et aussi à espacer dans la mesure du possible les interventions de maintenance, consommateurs de pièces de rechanges, de matières premières et d'énergie, et engendrant des coûts supplémentaires.

Dans ce sens, la maintenance prédictive passe un nouveau cap, grâce à sa capacité de détection de défaillance à travers leurs signes coureurs. En effet, l'analyse des données permet de déterminer les facteurs de probabilité des risques techniques qui sont les défaillances, permettant ainsi d'éviter la suspension d'activité de production non planifiée. Une telle maintenance garantit une grande adaptabilité du système de production et une allocation plus efficace des ressources.

Dans ce chapitre, nous avons essayé de situer notre travail de recherche. Dans un premier temps nous avons mis le point sur les apports de la maintenance prédictive au niveau de plusieurs aspects industriels, notamment en matière de développement durable, en ciblant une triple performance, économique, sociale et environnementale. Ainsi, une migration vers de telle politique de maintenance est justifiée. Par la suite nous avons délimité le périmètre de notre contribution scientifique par rapport aux axes d'ingénierie de système complexes, de développement durable, d'aide à la décision ainsi que les NTIC. Ceci a permis de définir les problématiques réelles engendrées par notre sujet de thèse. Ainsi notre travail de recherche s'accentuera principalement autour du développement des axes suivants, à savoir : l'identification des besoins et exigences fonctionnelles d'un système de télésurveillance, le diagnostic de l'intégration d'un tel système dans l'environnement industriel comme étude de cas. Par la suite nous allons élaborer une démarche à caractère générique pour l'intégration et le déploiement d'un système de télésurveillance. Enfin nous allons mettre en valeur notre conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, notamment son système d'informations.

Chapitre 2

Surveillance et capteurs intelligents : État d'art

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les fonctions principales de la surveillance à savoir : la détection et le diagnostic, ainsi que les méthodologies de surveillance qu'elles soient avec modèle ou sans modèle. Dans la suite de ce chapitre, et dans un premier temps, nous allons présenter une revue de littérature des méthodologies se basant sur les outils de l'intelligence artificielle, et appliquées aux domaines de la surveillance. Dans un second temps, nous allons introduire les notions de capteurs intelligents, de réseaux de capteurs, avant de présenter un état d'art des applications récentes des capteurs intelligents, notamment en monitoring industriel.

2.2. La surveillance et ses fonctions principales

La surveillance est un dispositif passif, informationnel, qui analyse l'état du système, et fournit des indicateurs. Elle consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution du système [7]. Cette phase est suivie par l'opération de diagnostic, qui vise à localiser et à remonter à l'origine des défaillances des organes du système surveillé.

Ainsi, la surveillance est constituée par deux fonctions principales et complémentaires, qui sont la détection et le diagnostic.

La détection des défaillances du système passe par une classification des modes observés de fonctionnement du système. La finalité est de distinguer les modes normales et les modes anormales du système.

Quant au diagnostic, étant donné un ensemble de manifestations observées, il s'agit d'expliquer leur présence, de remonter aux causes, en utilisant un savoir sur le système considéré [8].

Ainsi, la fonction de diagnostic comporte deux sous fonctions, à savoir : la localisation des organes défaillants et, l'identification des causes qui ont contribué à ce mode anormale.

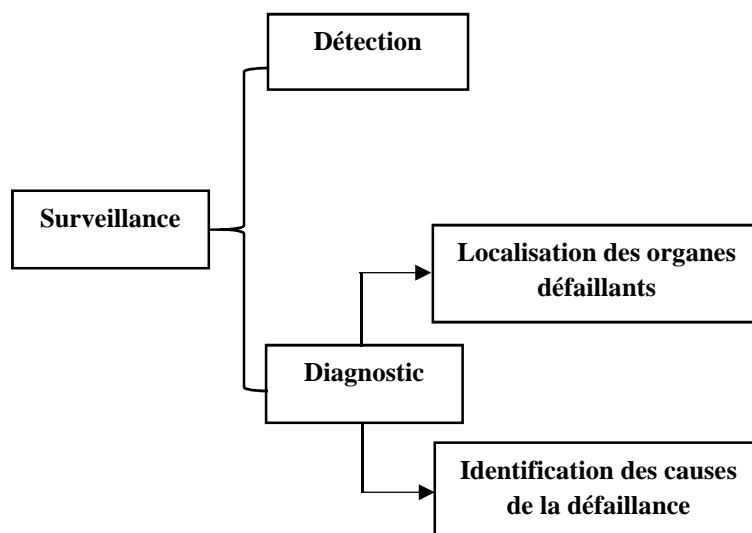


Figure 2.1 : Fonctions principales de la surveillance [7] [15].

La surveillance nécessite l'exploitation de toutes les informations disponibles sur la machine. Ces informations peuvent se présenter sous format numérique, c'est le cas des données capteur, ou sous format symbolique comme les rapports d'interventions et les fichiers historiques. C'est la notion « d'approche unifiée » pour la fonction surveillance, qui exploite à la fois, les données numériques et symboliques pour l'élaboration d'un système de surveillance.

La tendance moderne de la maintenance s'oriente vers l'instauration d'une maintenance prévisionnelle avec une projection dans le futur, et dont les prévisions en matière de maintenance sont faites à partir des extrapolations de l'analyse de l'évolution du dysfonctionnement détecté, et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation de l'équipement, ainsi que l'estimation de temps de fonctionnement correct qui subsiste avant la défaillance.

Ainsi, une surveillance classique ne répond pas à ces exigences et s'avère insuffisante dans ce contexte, c'est pourquoi un caractère dynamique s'impose pour donner naissance à la surveillance prédictive ou prévisionnelle, qui consiste, en plus d'analyser l'état présent et passé du système surveillé, de fournir des indicateurs sur les tendances d'évolution future. Il s'agit d'une anticipation de la défaillance, à travers la recherche d'une dégradation.

Par conséquent, la première sous fonction qui est la détection, prend un caractère dynamique, qui vise à prédire une défaillance future, de même pour la sous fonction diagnostic, qui se métamorphose vers un pronostic, et qui aura pour objectif, de mettre

l'accent sur les causes qui ont contribué à la dégradation, signe précoce d'une défaillance.

En fait, après détection de la dégradation d'un composant ou d'une fonction, le rôle du processus de pronostic est de prédire l'évolution future des performances du système, en tenant compte d'interventions de maintenance planifiées et éventuellement de conditions opérationnelles ou environnementales changeantes [9].

2.3. Les méthodologies de surveillance

2.3.1. Méthodologie avec modèle du système

La surveillance des équipements est basée généralement sur une même architecture, combinant trois fonctions principales : « voir, comprendre et agir », où à partir de l'information disponible, l'objectif est de détecter, localiser et identifier les défaillances [10].

Les méthodologies de surveillance sont généralement divisées en deux groupes : méthodologies de surveillance avec modèle et sans modèle [11].

En ce qui concerne les méthodologies de surveillance avec modèle, elles supposent l'existence d'un modèle formel de l'équipement et font appel aux techniques de l'automatique. Ces méthodes sont dites internes, car elles exploitent les paramètres de fonctionnement internes du système pour la surveillance de son fonctionnement [12].

Les méthodes de surveillance avec modèle physique, ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur les systèmes, aux informations fournies par le modèle [13]. Ainsi, l'écart observé traduit l'existence d'une défaillance. La surveillance du système se réduit dans ce cas, à la surveillance de la différence qui existe entre les valeurs des mesures effectuées sur le système et les valeurs prédites par le modèle formalisé : c'est la notion de résidu. L'utilisation des outils d'aide à la prise de décision, va indiquer la présence ou non d'un défaut en évaluant la valeur des résidus.

Les équipements industriels présentent souvent une difficulté en matière de génération d'un modèle physique représentant le plus proche possible la réalité du fonctionnement, à cause de leurs complexités et suite aux reconfigurations permanentes durant le cycle de production. C'est pourquoi les méthodologies de surveillance sans modèle s'imposent.

2.3.2. Méthodologies sans modèle du système

Pour les applications industrielles, dont il est difficile voire impossible de générer un modèle pour la surveillance du système, on fait recours aux méthodologies sans modèle. Deux solutions existent dans ce cas : surveillance avec des tests statistiques du traitement du signal, et surveillance par intelligence artificielle [14].

2.3.2.1. Surveillance avec des outils statistiques

Le principe est simple, partant du fait que les signaux fournis par les capteurs possèdent des propriétés statistiques. On effectue alors quelques tests qui permettent de vérifier si ces propriétés sont présentes dans un échantillon des signaux mesurés. Parmi les tests les plus utilisés : le test de franchissement de seuil, le test de moyenne et le test de la variance [14]. A titre indicatif, le niveau global fourni par un accéléromètre dans le cadre d'une surveillance vibratoire, permet de le comparer avec des seuils préétablis.

Dans la pratique, il existe deux seuils : un seuil de préalarme qui évoque une intervention préventive, et un seuil d'alarme qui exige l'arrêt de la production pour réaliser une intervention corrective.

Ces techniques sont qualifiées d'outils de traitement de bas niveau, puisqu'elles sont en contact direct avec le signal délivré par le capteur. De plus, elles ne servent que pour la génération d'alarmes brutes, sans aucune information concernant leur signification [15].

2.3.2.2. Surveillance avec les outils de l'intelligence artificielle

Ces méthodes sont orientées vers la communication avec l'opérateur et se basent sur l'extraction d'une information exploitable à partir d'un package d'information. Elles sont donc utilisées pour l'interprétation des alarmes et l'aide à la décision [16].

En effet, l'information la plus complète possible est extraite à partir des signaux délivrés par les capteurs sous forme d'indicateurs. Cette information est traitée ensuite pour la rendre plus robuste et plus pertinente, l'ensemble d'indicateurs pertinents est utilisé par la suite, comme vecteur d'entrée aux classifieurs permettant d'assigner les différentes instances et observations aux modes de fonctionnement [10].

Ainsi, la fonction surveillance par les outils de l'intelligence artificielle est considérée comme une application de reconnaissance de formes. Celles-ci constituent le vecteur d'entrée représenté par les données fournies par les capteurs installés sur la machine, ainsi que les classes qui définissent les modes de fonctionnement.

Par conséquent, l'ensemble des états est homologue à un ensemble de classes et le vecteur forme est le vecteur des composantes des paramètres observés sur le système [14].

L'intérêt de l'utilisation des outils de l'intelligence artificielle, réside dans le fait, qu'ils permettent de traiter une grande quantité d'informations, de présenter une approche unifiée en ayant la capacité de traiter les données numériques et symboliques, et de faire des extrapolations à partir de données parfois incomplètes.

L'approche de surveillance par reconnaissance de formes permet d'associer un ensemble de mesures (continues ou discrètes) effectuées sur le système à des états de fonctionnement connus. Cette fonction permet d'avoir une relation d'un espace caractéristique vers un espace de décision [15].

Afin d'appréhender cette approche de surveillance, plusieurs outils sont à la disposition des chercheurs, on retrouve notamment, les outils statistiques de reconnaissance de formes, les réseaux de neurones, la logique floue, et les systèmes experts.

Ces outils mettent l'accent sur deux notions principales, à savoir : l'apprentissage et la reconnaissance.

a) Les outils statistiques de reconnaissance de formes

La finalité de ces outils est de pouvoir décider de l'appartenance, de tout vecteur d'entrée (vecteur de forme) à un monde fermé, dans le cas des classes connues ; ou à une classe de rejet dans le cas où toutes les classes ne sont pas identifiées par l'utilisateur, c'est la notion de monde ouvert.

Cette technique peut se montrer insuffisante, dans la mesure où elle suppose une connaissance préalable (une connaissance à priori) de tous les états de fonctionnement, sans prendre en compte l'évolution du système [17], pour dégager la totalité des classes possibles.

b) Les réseaux de neurones pour la reconnaissance de forme

Les réseaux de neurones sont des techniques puissantes de traitement non linéaires de données, qui ont fait leurs preuves dans de nombreux domaines. Ils sont utilisés essentiellement pour résoudre les problèmes de classification, de reconnaissance de formes, d'association, et d'extraction de caractéristiques d'identification [18].

En fait, l'exploitation par le personnel de la maintenance d'un système de surveillance, repose sur le principe de comparer les signaux collectés via les capteurs, avec des signaux de référence, et d'associer aux changements de formes des signaux collectés l'existence d'une éventuelle défaillance.

La multitude d'indicateurs à surveiller et à croiser, la difficulté d'interprétation d'une forme, d'une valeur, rendent délicates les opérations de suivi [19], d'où la nécessité de mettre en œuvre un système d'analyse automatique des mesures fournies par les capteurs installés sur le système.

C'est dans ce cadre que les réseaux de neurones apportent un grand intérêt, en analysant les signaux délivrés par les capteurs dans le réseau de neurones, et en recherchant selon des critères préétablis, la présence d'une défaillance ou une indication sur sa gravité. Une de ces qualités de ce type d'outils, est son adéquation pour la mise au point de systèmes de surveillance modernes, capables de s'adapter à un système complexe avec reconfigurations multiples [15].

L'utilisation des réseaux de neurones permet de garantir une capacité d'apprentissage, ainsi qu'une capacité de généralisation, de plus, elle offre un traitement rapide grâce au parallélisme dans le traitement.

L'apprentissage est la caractéristique principale des réseaux de neurones, Il précède la phase de classification qui fera la correspondance entre les formes d'entrée et les classes qui représentent les modes de fonctionnement.

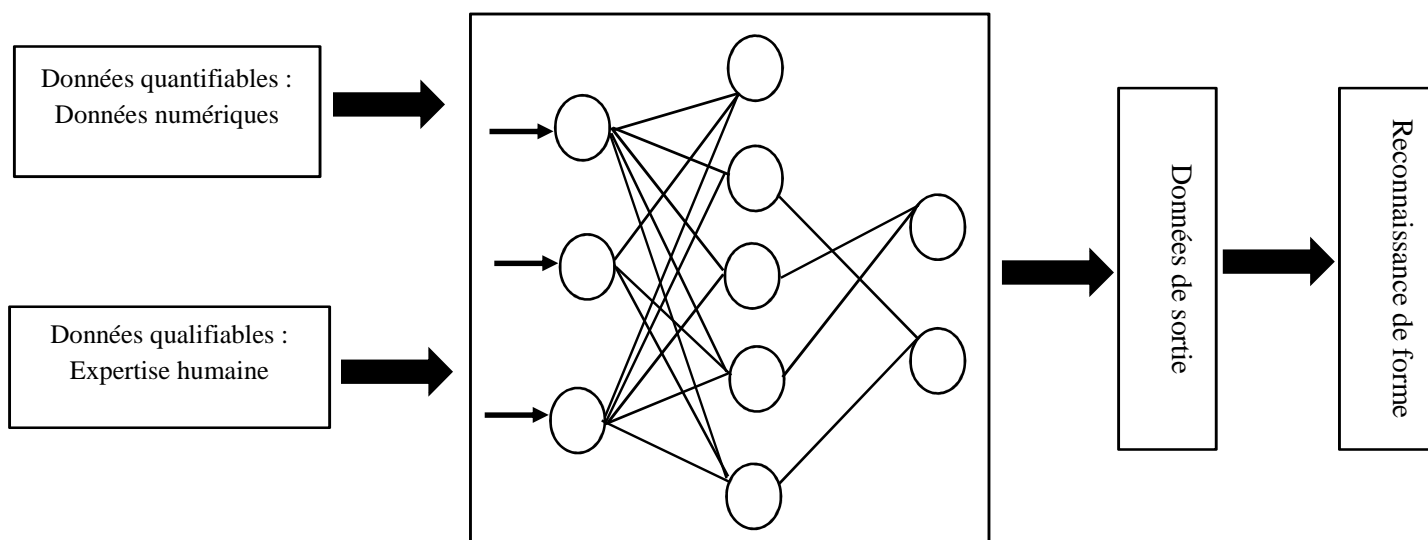


Figure 2.2 : Réseau de neurones pour la reconnaissance de forme.

c) La logique floue pour la reconnaissance de forme

La logique floue offre la possibilité de formaliser la représentation et le traitement des connaissances imprécises ou approximatives à cause de la présence du facteur humain. En effet, l'incapacité de l'homme face à la reconnaissance des langages, la compréhension des intentions et la prise de décision dans l'incertain. Cette incapacité provient de l'aptitude humaine à penser et à raisonner en termes imprécis, non qualitatifs « flous ».

C'est une méthodologie de contrôle qui simule des pensées humaines par l'intégration des imprécisions propres à chaque système physique.

Dans le cadre de la surveillance, l'expert humain exprime des connaissances ou des données dans un langage naturel fondamentalement imprécis. La logique floue permet donc d'une part, de prendre en compte les imprécisions inhérentes aux données, et d'autre part de rendre compte de l'expression des règles qui permettent de formaliser un diagnostic [7].

d) Le système expert pour la reconnaissance de forme

Un système expert est un système informatique destiné à résoudre un problème précis, à partir d'une analyse et d'une représentation des connaissances et du raisonnement d'un ou plusieurs spécialités [20].

Dans un système expert, on retrouve trois éléments principaux à savoir :

- Une base de connaissance avec une base de faits, qui englobe toutes les observations faites sur le système à surveiller, et une base de règles qui modélise la connaissance du système ;
- Un moteur d'inférence qui représente un outil informatique, développé dans le but de raisonner et de faire des déductions ;
- Des interfaces utilisateurs qui offrent une consultation souple du système expert et qui permettent de faire la vérification et la mise à jour des bases de connaissance.

Une règle est de la forme « si tel fait est attesté alors effectuer telle action ». Une action peut être l'ajout d'un fait, le retrait d'un fait ou la modification d'un fait existant dans la mémoire de travail.

Développer un système expert ne consiste pas à développer un mécanisme d'inférence, mais à représenter les connaissances. La première difficulté est de récupérer la connaissance auprès des experts humains, la deuxième de la représenter sous forme de règles.

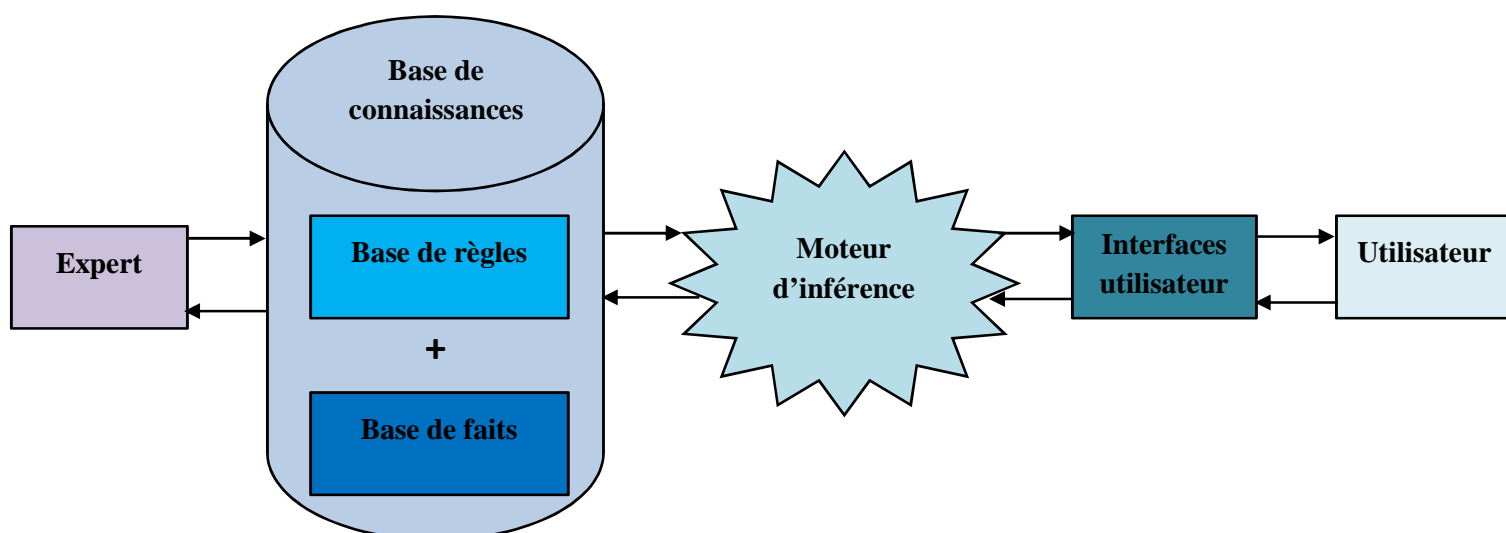


Figure 2.3 : Système expert.

2.4. Etat d'art de la surveillance par l'intelligence artificielle

Les applications de l'intelligence artificielle touchent pratiquement tous les domaines, en particulier les industries militaires et aéronautiques, les industries pétrolières, chimiques, pharmaceutiques, le transport, les télécommunications, le domaine médical ainsi que la sécurité des biens et des citoyens.

Le premier système expert, appelé DENDRAL, fut créé en 1969, pour la tâche spécialisée, qui consiste à déterminer la structure moléculaire d'une molécule, à partir de sa formule et les résultats de sa spectrométrie de masse. Après le succès de DENDRAL, d'autres système expert furent créés, notamment le système MYCIN, qui réalisait l'une des fonctions de la surveillance qui est le diagnostic des infections sanguines, MYCIN réussissait à diagnostiquer à un niveau proche des experts humains [21].

Au début des années 80, l'entreprise DEC commença à utiliser un système expert d'aide à la configuration des systèmes informatiques, ce qui leur permit d'économiser des dizaines de millions de dollars. C'était le déclic pour beaucoup de grandes entreprises qui commencèrent à s'intéresser à l'intelligence artificielle et à former leurs propres équipes de recherche.

Le programme européen de recherche INDECT, lancé en 2009, par la commission européen, qui a chargé le consortium INDECT, de mettre en place un système intelligent d'information permettant l'observation, la recherche et la détection, en vue d'assurer la sécurité des citoyens dans un environnement urbain. Le but est en fait, la détection automatique des menaces, des comportements anormaux ou de violences [22].

Mieux qu'INDECT, deux sociétés privées américaines, ont conçu en 2014 deux systèmes permettant la détection automatique des comportements suspects à partir des images de caméra de surveillance grâce à l'intelligence artificielle. Il s'agit des deux firmes TrapWire et BRS Labs. Le programme AISight élaboré par BRS Labs, se base sur des algorithmes complexes, et utilise une véritable "intelligence artificielle" via un "réseau de neurones artificiels" qui voit, apprend, et devient plus intelligent avec le temps, affinant les alertes, et la détection de comportements suspects. De plus il aurait la capacité d'apprendre à partir de ce qu'il observe, et de s'améliorer, sans interaction manuelle [23].

Dans le domaine médical, la référence [24] a proposé le prototype d'un système intelligent de surveillance d'agitation chez les personnes atteintes de démence (malades d'Alzheimer) à l'hôpital. L'objectif était de démontrer qu'il est possible de détecter certaines pathologies cliniques à l'aide d'un réseau de capteurs environnementaux à faible coût, tels que des capteurs acoustiques, de pression ou ultrason, ces derniers jouant le rôle de détecteurs de mouvement. En mesurant l'intensité et la durée du mouvement par rapport à l'ensemble des mouvements corporels, le système arrive dans un premier temps à distinguer 59% des cas d'agitation à l'aide uniquement des capteurs ultrasons, puis dans un second temps, 73% en tenant compte des détecteurs de pression. Ce taux peut atteindre, par la fusion de tous les capteurs, 94% d'efficacité.

De même en 2010, Link Care Services (LCS) a proposé un système de surveillance intelligent au service des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et des aidants qui les accompagnent. Il s'agit d'un dispositif capable de détecter les mouvements anormaux, des situations critiques dans lesquelles sont mis ces personnes fragiles, et d'envoyer l'alerte. De plus ce système autonome permet aux aidants de bénéficier quotidiennement de moments de répit, et ce en toute sécurité et en toute sérénité. En effet, L'aidant déclenche et éteint le système quand il le souhaite. Le patient n'intervient pas. Il n'a rien à faire, rien à déclencher, et ne se rend souvent pas compte de la présence du dispositif [25].

On trouve aussi dans la littérature plusieurs applications, dont on se limite de citer que les applications proposées dans le domaine de détection et de diagnostic de défauts.

La référence [26] utilise les réseaux de neurones à fonction radiale RBF pour la séparation de deux modes « normal et anormal » dans un système de distillation continu de méthyl cyclohexane à partir d'un mélange binaire toluène\ méthyl cyclohexane. Il utilise les réseaux de neurones de type RBF (Radial Basis Function) pour la détection et le diagnostic de quatre défauts de fonctionnement dans une colonne de distillation.

La référence [27] présente une technique de diagnostic de défaut dans les moteurs à combustion interne. La technique proposée est basée sur l'analyse de WPT (Wavelet Packet Transform) combiné avec les réseaux de neurones artificielle ANN (Artificial Neural Network) pour détecter et classifier les défauts de fonctionnement dans un moteur à combustion interne dans divers régimes.

Dans le domaine du transport, la référence [28] utilise les méthodes k-ppv, les réseaux RBF (Radial Basis Function) et SVM (Support Vector Machines) pour la détection et le diagnostic de défauts d'usure des galets du système de guidage d'un tramway sur pneumatiques. L'exécution de ces méthodes de classification donne des résultats très satisfaisants en particulier le classifieur SVM. Il montre une grande robustesse et une bonne capacité de généralisation avec une base d'apprentissage de dimension faible.

La référence [29] présente le développement d'un logiciel flexible pour la surveillance et diagnostic des machines qui peut facilement être adapté aux besoins du client pour un éventail de scénarios de surveillance. Ses constituants principaux sont un certain nombre de modules de logiciels indépendants, tels que les arbres de défaillances, le module de classification flou, et les réseaux de neurones probabilistes PNN (Probabilistic Neural Network) comme sous-systèmes de diagnostic. L'application du logiciel est validée sur deux applications, à savoir la surveillance de machine-outil et la surveillance de boîte de vitesse.

Dans le domaine de la maintenance des installations électriques, la référence [30] a mis un système d'aide à la maintenance préventive par la détection précoce et le diagnostic des défauts du tableau électrique, qui se base sur le système d'acquisition de données déjà existant dans la division des services de Schneider-Electric. Deux méthodes ont été testées. La première est la comparaison du comportement thermique de l'armoire par rapport à un modèle physique du tableau supposé sain. La deuxième utilise la capacité d'apprentissage des réseaux de neurones pour reconnaître les cas de défaillances.

La référence [31] présente un dispositif embarqué sur un disjoncteur moyenne tension MT qui permet de surveiller les conditions de son fonctionnement, et propose un schéma d'organisation du transfert et du traitement des données, en utilisant les techniques et technologies de l'intelligence artificielle.

Dans le secteur de distribution d'eau potable, la référence [32] a étudié le problème de conception d'un système Non-Destructif pour la détection de défaut dans les canalisations au moyen de modèles de réseau neurones artificiels MLP (Multi Layer Perceptron). Des techniques numériques ont été employées pour simuler la propagation des ondes guidées dans les canalisations.

En particulier, la méthode d'éléments finis a été employée pour modéliser différents types de défauts, et pour obtenir plusieurs échos de renvoi contenant l'information de défauts.

Dans un premier temps, les signaux obtenus ont été traités afin de réduire la dimensionnalité de données, et extraire les informations pertinentes pour la détection de la taille et de l'endroit des différentes entailles dans les canalisations.

D'autre part, les applications dans la maintenance préventive par analyse vibratoire sont nombreuses. Ces applications se traduisent par le suivi des roulements à billes d'un moteur électrique, la surveillance de boîte à vitesse d'hélicoptères, et le diagnostic de défauts combinés sur les machines tournantes.

La référence [33] propose une comparaison des performances de la classification des défauts dans les machines tournantes en utilisant un couplage des réseaux de neurones artificiels et les algorithmes génétiques, afin d'améliorer la surveillance des machines tournantes en détectant l'évolution d'un défaut dans le temps.

Dans le cas de défauts combinés, comme un défaut de roulement et un balourd d'arbre, la référence [34] propose une contribution de l'usage des réseaux de neurones comme un outil de diagnostic de la machine asynchrone à cage, dans la mesure où ils s'avèrent complémentaires à l'interprétation des signaux traités. En effet, ils permettent de dissocier les deux types de défauts, ce qui est impossible avec les méthodes classiques.

La référence [35] présente une approche qui se base sur l'extraction d'un vecteur de paramètres, appelé vecteur forme, sur chacune des mesures effectuées sur la machine. La règle de décision utilisée permet de classer les observations décrites par le vecteur forme par rapport aux différents modes de fonctionnement connus avec ou sans défaut. Sa contribution porte sur la sélection d'un nombre réduit de paramètres pertinents pour représenter les signatures vibratoires des défauts d'une boîte de vitesse d'un hélicoptère de la marine américaine.

2.5. Capteurs intelligents et domaines d'application

2.5.1. Capteurs intelligents

Grâce aux récentes avancées dans les domaines des technologies sans fil et électroniques, de minuscules capteurs ont vu le jour caractérisés par leur faible coût et consommant peu d'énergie. Ces capteurs assurent trois fonctions principales à savoir :

- Capturer des données (vibrations, pression, lumière, température...);
- Fournir des informations à l'aide de ces valeurs collectées ;
- Communiquer ces informations à travers un réseau de capteurs.

En effet, Hier, on cantonnait les capteurs au simple rôle de détecteurs : température, fumée, intrusion. . . On leur demande aujourd'hui de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données [36].

Deux définitions de capteur intelligent semblent alors répandues. La première fait référence à la présence d'un microprocesseur embarqué. Celui-ci peut avoir comme objectif de modifier le comportement interne du capteur afin d'optimiser sa capacité à collecter les données [37], ou simplement pour effectuer localement des traitements et des calculs [38]. La seconde définition se focalise sur la capacité de communication bidirectionnelle du capteur, avec des systèmes extérieurs et des opérateurs humains. Le capteur reçoit et traite des commandes extérieures, et envoie des mesures et des informations de statut [39].

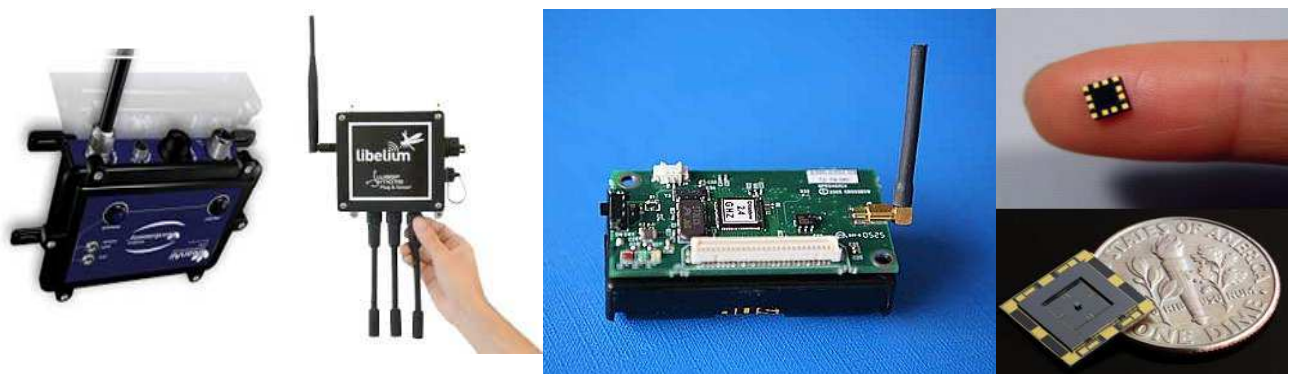


Figure 2.4 : Capteurs intelligents.

Le simple fait qu'un capteur sache pallier une coupure du lien de communication au destinataire, par exemple en mémorisant les données jusqu'au rétablissement du lien, lui confère une forme d'intelligence.

L'intelligence d'un capteur relève communément de sa capacité à :

- Exécuter des algorithmes plus ou moins complexes sur les données relevées, comme calculer des minimums et maximums, filtrer, moyenner, calculer des transformées de Fourier, ou faire des corrélations.
- Réagir dynamiquement à des ordres reçus de l'utilisateur, comme activer ou désactiver une voie, modifier un seuil, ajouter un autre traitement sur les données, et communiquer avec un autre capteur.
- Réagir à des dysfonctionnements de son environnement comme une voie qui ne répond plus, ou un lien de communication défaillant ;
- S'auto-identifier, s'autolocaliser, s'autoreconfigurer, s'autoréparer, etc.

Un capteur ou nœud capteur par référence au terme anglais "sensor node" est composé de plusieurs éléments ou modules correspondant chacun à une tâche spécifique d'acquisition, de traitement et de transmission des données. Il comprend aussi une unité de puissance [40] [41] [42].

- **L'unité d'acquisition :**

Elle est constituée par un capteur qui obtient des mesures sur les grandeurs physiques ou paramètres environnementaux (chaleur, pression, vibration, rayonnement...) et un convertisseur analogique/Numérique afin de pouvoir être traitées par l'unité de traitement.

- **L'unité de traitement :**

Elle est composée principalement d'un processeur et d'une mémoire, et intégrant un système d'exploitation spécifique. Cette unité est dotée de deux interfaces, la première pour l'unité d'acquisition, et la seconde pour l'unité de communication. La vocation principale de cette unité est d'acquérir les données en provenance de l'unité d'acquisition et de les envoyer à l'unité de communication. Cette unité est chargée aussi d'exécuter les protocoles de communication qui permettent de faire collaborer le capteur avec d'autres capteurs du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées.

La partie traitement doit effectuer la transmission de l'information au réseau, ce qui inclut la gestion des protocoles de communication.

- **L'unité de transmission de données :**

C'est l'unité responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication. Ce dernier peut être de type optique ou de type radio. Les communications de type radio sont sensibles aux interférences et coûtent cher en énergie à cause de l'utilisation de divers circuits électroniques (circuits de modulation, démodulation, filtrage et multiplexage). La liaison optique est très robuste mais elle ne peut être que direct car sensible aux obstacles. Néanmoins, ne pouvant pas établir de liaisons à travers des obstacles, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes.

- **L'unité de puissance :**

Un capteur est muni d'une batterie, pour alimenter tous ses composants, cependant à cause de sa taille réduite, cette batterie est limitée et généralement irremplaçable. Ainsi l'alimentation est une composante cruciale. Ceci fait souvent de l'énergie la ressource la plus précieuse, car elle influe directement sur la durée de vie capteurs et par conséquent celle du réseau entier. Il y a essentiellement deux aspects ; le premier concerne le fait de stocker l'énergie et la fournir sous la forme requise quant au deuxième aspect, il s'agit de tenter de reconstituer l'énergie consommée par un réapprovisionnement grâce à une source de puissance externe au nœud capteur telles que les cellules photovoltaïques. Le stockage de l'énergie se fait en utilisant des piles. A titre indicatif, ce sera une pile AA normale d'environ 2.2-2.5 Ah fonctionnant à 1.5V.

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels comme le système de positionnement GPS (Global Positioning System), ainsi qu'un mobilisateur leur permettant le déplacement [43] [44] [45] [46].

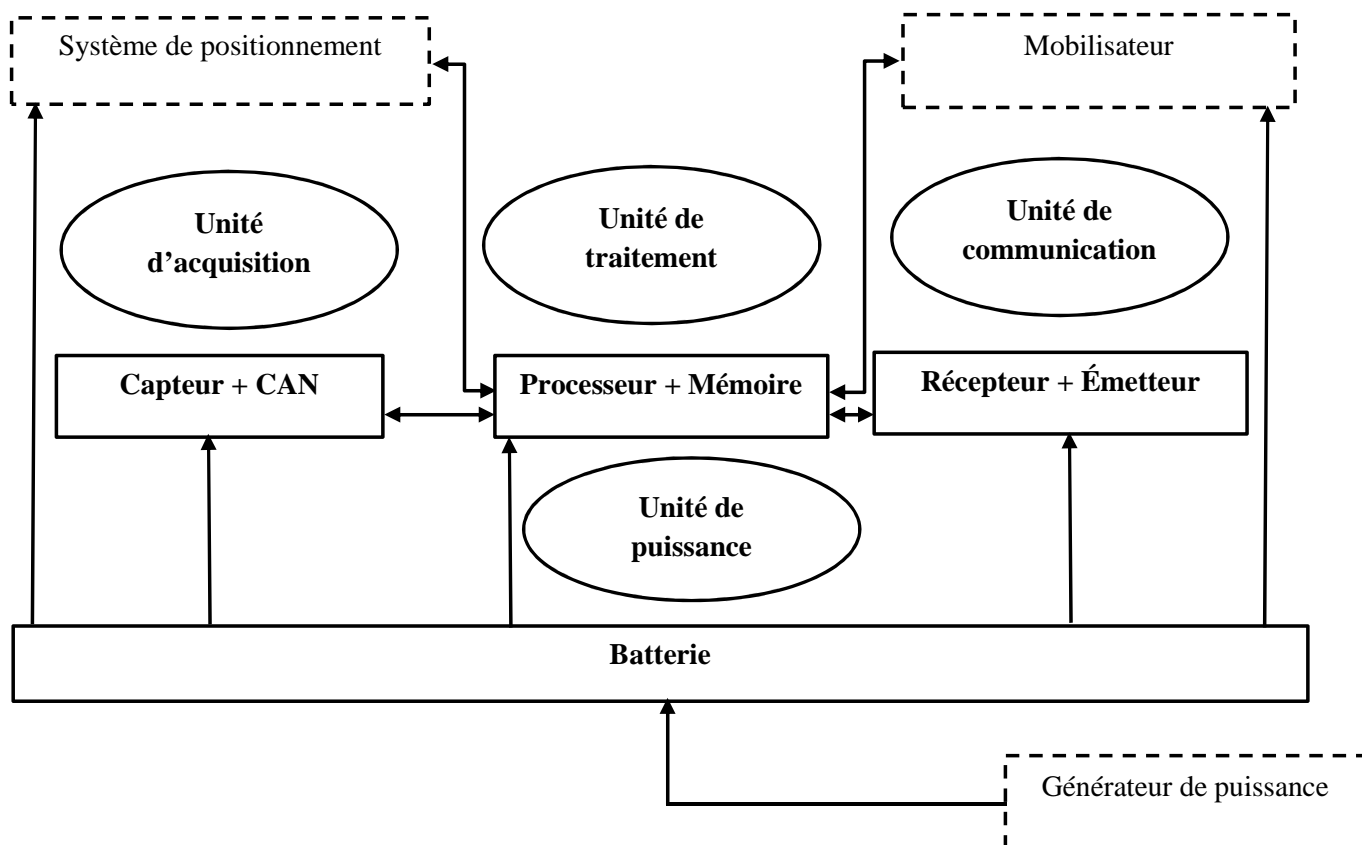


Figure 2.5 : Constitution générale d'un nœud capteur.

2.5.2. Réseau de capteurs intelligents

En Septembre 1999, le magazine hebdomadaire Business Week présente les réseaux de capteurs sans fil, comme l'une des 21 technologies les plus importantes à développer au cours du 21^{ème} siècle. Grâce à la contribution de l'agence américaine pour les projets de recherche avancées de défense "DARPA", par le biais de deux programmes DSN (Distributed Sensor Networks) et SensIT, les chercheurs ont mis au point des dispositifs électroniques intelligents appelés nœuds capteurs [47].

En termes de domaines d'applications, les réseaux de capteurs ont connu un très grand succès, car ils détiennent un potentiel qui révolutionne de nombreux secteurs de notre économie et notre vie quotidienne, de la surveillance et la préservation de l'environnement, à la fabrication industrielle, en passant par l'automatisation dans les secteurs de transport et de la santé, la modernisation de la médecine, de l'agriculture, de la détection des feux de forêts et de la logistique [48].

Un capteur analyse son environnement, et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. En réseau, ces capteurs peuvent interagir entre eux et avec un système externe par le biais de communication sans fil ou filaire. Ainsi, ces capteurs peuvent être reliés ensemble pour constituer un réseau sans fil, se basant sur des protocoles pour communiquer [49]. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture, le réseau se trouve entièrement couvert. De tels réseaux, capables d'analyser et de surveiller une zone définie, présentent des avantages indéniables [50].

Afin de garantir un système de télésurveillance performant, un réseau de capteurs doit être déployé, notamment un réseau de capteurs sans fil.

Ce réseau de capteurs doit comporter deux parties essentielles :

- Une partie sensorielle, qui intègre les capteurs permettant la mesure de paramètres significatifs de l'état de fonctionnement du système de production ;
- Une partie transmission de données, qui a pour rôle d'envoyer en permanence les données vers une unité centrale, via un réseau sans fil tel que Gsm, Wifi, ZigBee ou Bluetooth , pour signaler une alerte dans le cas d'un traitement en temps réel (dépassement d'un seuil), ou visualiser la tendance de l'évolution des paramètres [51][52].

En effet, la fusion de deux pôles de l'informatique moderne : les systèmes embarqués et les communications sans fil, a donné naissance au réseau de capteurs sans fil.

Dans la littérature, on retrouve plusieurs définitions de réseau de capteurs, nous retenons sans souci d'exhaustivité les deux définitions suivantes :

- Un réseau de capteurs sans fil est un système distribué de grande échelle, mettant en communication un grand nombre d'entités autonomes communément appelés capteurs sans fil [53] ;
- Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de nœuds capteurs, communiquant en liaison sans fil. Ces nœuds capteurs disposent d'une unité de stockage, d'une unité de traitement de données, d'une unité de captage, d'une batterie d'alimentation et d'une interface de communication [54].

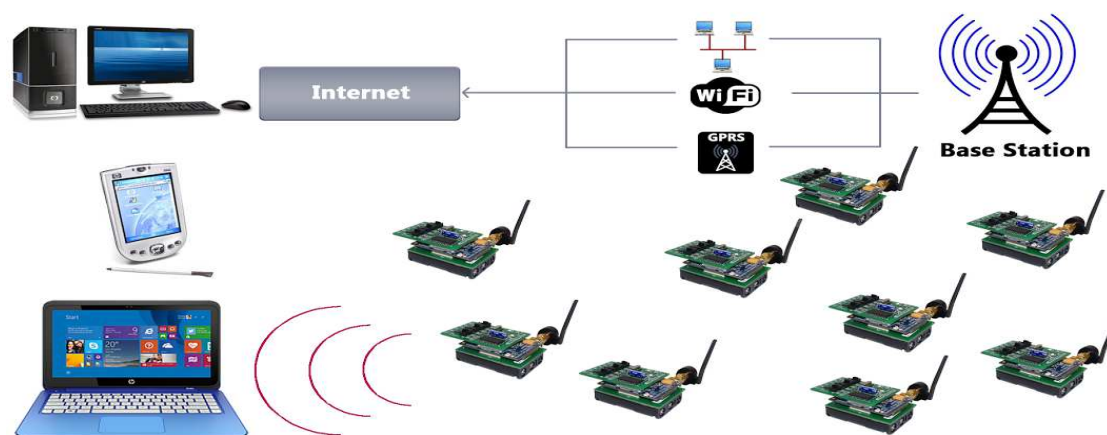


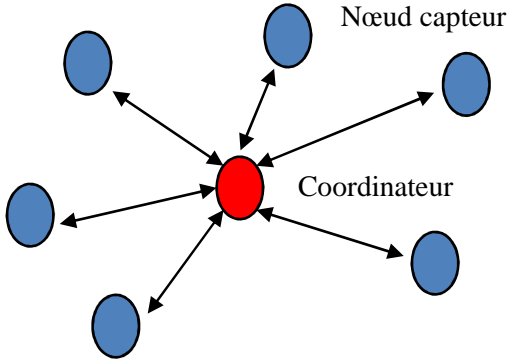
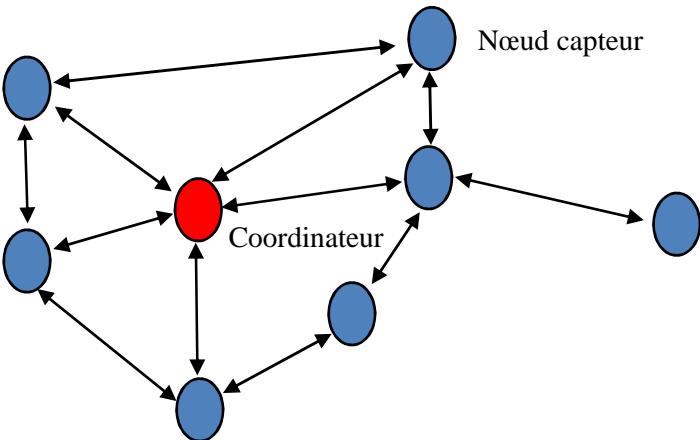
Figure 2.6 : Représentation d'un réseau de capteurs intelligents [55].

Les données captées par les nœuds sont envoyées au destinataire “point de collecte” et appelé aussi concentrateur (nœud puit ou sink). Ce nœud puit est une base de contrôle qui possède plus de ressources matérielles et permet de collecter et stocker les informations issues des capteurs. De plus, le nœud puit peut être connecté à l'utilisateur du réseau, via un système de surveillance placé à proximité ou situé à distance à travers un moyen de communication type internet, transmission radio ou satellite. Ce concentrateur peut envoyer des requêtes ou des reconfigurations au réseau ou à une partie, précisant par exemple la nature et les mesures requises. D'autre part, le concentrateur transmet les données au gestionnaire de tâches pour les analyser et prendre des décisions [56] [57].

2.5.3. Topologie des réseaux de capteurs

La diversité des applications et des contextes d'utilisation de réseau de capteurs conduit au développement des systèmes de télésurveillance dont les nœuds (capteurs) peuvent être organisés selon plusieurs topologies. Autrement dit, ces nœuds peuvent être configurés afin de permettre à l'utilisateur de faire correspondre physiquement l'instrumentation déployée sur le terrain à la vision logique de son application [58] [59].

Il existe trois topologies répandues de réseau de capteurs. Le tableau suivant présente les schémas physiques ainsi que les principales propriétés de chaque topologie.

Topologie	Description et schéma caractéristique	Propriétés
<p>Etoile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La topologie étoile est composée d'un nœud central appelé coordinateur ou sink du réseau de capteurs et d'une pluralité de nœuds capteurs sans fil ; - Tous les nœuds capteurs transmettent leurs données directement vers le coordinateur (transmission à un saut). 	<ul style="list-style-type: none"> - Un seul centre de communication - Économie d'énergie ; - Minimise les retards dans la transmission de données ; - Adaptée aux applications en champ libre, avec peu d'obstacles. - Appliquée en médecine dans le cas de réseau à l'échelle humaine, les nœuds capteurs sont disséminés sur la peau du patient et le coordinateur récolte les données provenant de ces nœuds [60] [61].
<p>Maillée ou en toile (Mesh Network)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La topologie maillée est constituée d'un ensemble de nœuds reliés les uns aux autres et agissant comme des routeurs ; - Chacun des nœuds transmet ses données à son voisin après avoir établi le meilleur chemin pour véhiculer les données à travers le réseau jusqu'au puits (coordinateur ou sink) 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de faire circuler les données en empruntant plusieurs chemins possibles ; - Capacité à grandir en ajoutant des nœuds ; - Augmentation des retards dans la chaîne de communication ; - Permet de contourner les obstacles - Demande une grande consommation d'énergie. - En cas d'absence de transfert de données, les nœuds se mettent en mode veille pour économiser de l'énergie. - Permet le fonctionnement du réseau en cas de panne d'un nœud [62] [63].

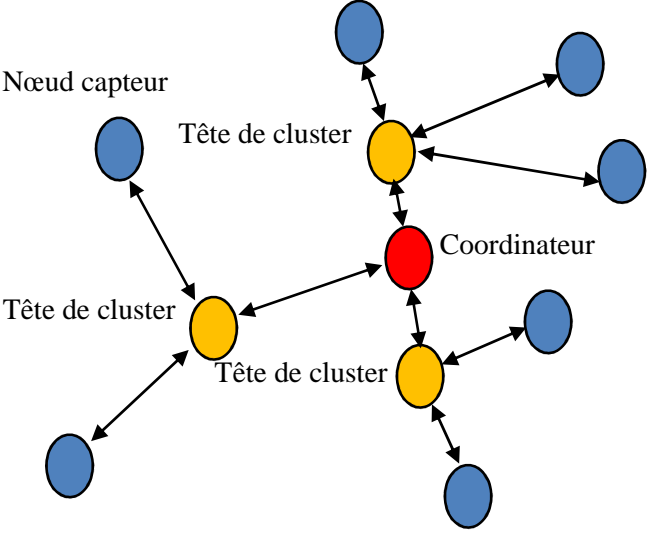
<p>Arbre ou Cluster</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La topologie arbre est partitionnée en groupes appelés "clusters". - Un cluster est constitué d'un nœud particulier appelé "cluster-head" ou "tête de cluster" et d'autres nœuds. - Ces nœuds ne communiquent qu'avec leur "tête de cluster". Ce dernier est ensuite en charge de faire suivre les messages reçus vers le puits du réseau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peut être hiérarchisée selon le rôle des éléments du réseau (coordinateur, têtes de cluster, nœud) ; - Permet d'équilibrer la différence des niveaux d'énergie de tous les nœuds afin d'éviter la disparition ou l'isolement d'un nœud - Permet de mieux prolonger la durée de vie du réseau [64], [65], [66].
--------------------------------	---	--

Tableau 2.1 : Topologie du réseau de capteurs.

2.5.4. Architecture protocolaire

La diversité des applications de réseau de capteurs sans fil, la complexité de détection, le type de données à transmettre (vidéos, images, valeurs numériques, etc.), le débit visé, la consommation énergétique, le retard accepté pour la communication, ainsi que les scénarios de mesure imposés par la nature de l'application, ont un impact direct sur le choix du protocole de communication à implémenter. En effet chaque protocole possède des particularités qui répondent aux spécificités de l'application. A titre indicatif :

- Selon la consommation énergétique des capteurs, on choisira un protocole plus au moins consommateur d'énergie ;
- Selon le temps de latence accepté pour la communication ainsi que le débit visé, la préférence est pour un protocole à haut débit ;

- Selon la topologie souhaitée pour les nœuds, ainsi que la gamme de distance entre capteurs le choix est orienté vers un protocole incluant le multi saut et la communication entre capteurs.

En ce qui concerne les technologies radio, on peut catégoriser les réseaux sans fil suivant la zone de couverture et la portée de communication. Ainsi, il existe une panoplie de protocoles de communication sur le marché, dont certains sont normalisés et d'autres sont propriétaires. De plus, certains protocoles proposent une faible consommation d'énergie mais engendrent des délais importants et des débits de transferts plus au moins faibles. Le choix sera donc orienté vers un protocole qui offre un compromis entre le débit et la consommation d'énergie [67] [68] [69].

Le tableau suivant regroupe les principaux protocoles, avec leurs caractéristiques techniques.

Protocole	Compagnie	Standard	Bande de fréquence	Portée	Description
Bluetooth	Bluetooth SIG	IEEE 802.15.1	1.6 MHz ; 2.4 GHz	10m-100m	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation élevée d'énergie ; - Coût élevé de synchronisation ; - Topologie complexe du réseau ; - Peu utilisé dans les réseaux de capteur sans fil [70] [71].
Wibree	Nokia	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	5m-10m	<ul style="list-style-type: none"> - Puissance de transmission et débit faibles ; - Consommation équivalente à 10% de celle par Bluetooth ; - Adapté aux capteurs et aux équipements portés [72].
UWB	UWB forum et Wimedia Alliance	IEEE 802.15. 3a	3.1 GHz- 10.6 GHz	10m	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de bandes passantes et moins d'interférences avec les autres technologies ; - Utilisé pour les transmissions à haut débit ; - Faible consommation d'énergie [73] [74].
ZigBee	ZigBee Alliance	IEEE 802.15. 4	868MHz (Europe) ; 915 MHz (USA)	10m-100m	<ul style="list-style-type: none"> - Orienté pour les communications à faible puissance ; - Faible débit lors d'applications multimédia ; - Faible consommation d'énergie. [75] [76] [77].
Wifi	Wi-Fi Alliance	IEEE 802.11b ; IEEE 802.11g ; IEEE 802.11a ; IEEE 802.11n.	2.4 GHz- 5.8 GHz	10m-100m	<ul style="list-style-type: none"> - Facile à déployer; - Grande consommation d'énergie; - Coût relativement élevé [78].
OneNet		Propriétaire	868MHz (Europe) ; 915 MHz (USA)	10m-70m	<ul style="list-style-type: none"> - Conçu pour les applications à faible puissance et à faible coût ; - Adapté aux applications de la domotique et du contrôle industriel [79] [80].
Z-Wave	Zensys	Propriétaire	868MHz (Europe) ; 915 MHz (USA)	100m	<ul style="list-style-type: none"> - Conçu pour la domotique ; - Coûte la moitié de ZigBee ; - Les topologies prises en charges sont de type étoile et maillée [81] [82].
Miwi	Microship	Propriétaire	2.4 GHz	10m-100m	<ul style="list-style-type: none"> - Adapté pour les petits réseaux ; - Faible puissance et faible débit ; - Les topologies prises en charges sont de type étoile et maillée. [83] [84].

Tableau 2.2 : *Protocoles de communication les plus populaires.*

2.5.5. Domaines d'application de réseaux de capteurs intelligents

Les capteurs traditionnels, mesurant une grandeur physique, sont présents depuis longtemps dans les domaines comme l'industrie, l'aéronautique ou l'automobile. Ils sont en général reliés à la base de traitement par liaison filaire. La nouveauté avec les réseaux de capteurs, est qu'ils ont la possibilité de communiquer par ondes radios avec d'autres capteurs proches distants de quelques mètres tout au plus. Chaque capteur collaborant avec ses voisins proches, un réseau de capteur peut couvrir une zone assez vaste.

Les réseaux de capteurs présentent des intérêts considérables pour le secteur industriel, mais aussi pour les organisations civiles où la surveillance et la reconnaissance de phénomènes physiques est une priorité. En effet, un réseau de capteurs peut être mis en place dans le but de surveiller une zone géographique plus ou moins étendue pour détecter l'apparition de phénomènes ou mesurer une grandeur physique (température, pression, vitesse...). Suite aux grandes avancées dans le domaine de la microélectronique, qui ont contribué à la réduction des coûts des nœuds capteurs et par conséquent à la démocratisation de cette technologie, l'éventail des applications des réseaux de capteurs s'est élargi. En fait, ils s'ouvrent à une panoplie de domaines d'applications :

Par exemple, on aurait pu imaginer un réseau de capteurs, situé au large des côtes Indonésiennes, capable de mesurer l'amplitude de la houle dans le but de prévenir l'apparition de tsunamis. Ces réseaux intéressent aussi le milieu médical. Les applications sont multiples : surveillance intelligente et permanente des patients, mesures et analyses non intrusives de données physiologiques. Les applications sont très nombreuses, avec des impacts importants dans des domaines aussi variés que l'industrie, la recherche, l'environnement, ou la médecine. Il paraît évident que les réseaux de capteurs auront des nouveaux effets dans la vie de tous les jours, comme le serait une maison intelligente [85] [86].

La figure suivante présente les domaines d'application de réseaux de capteurs intelligents.

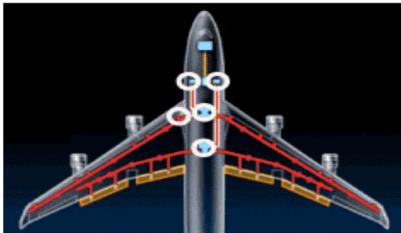
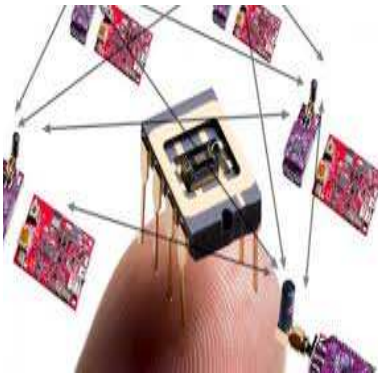
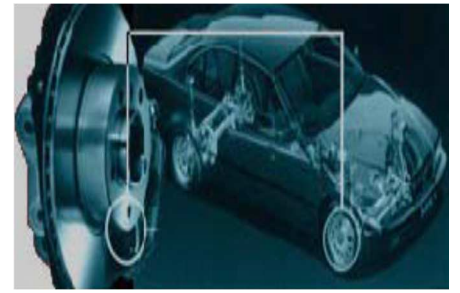


Figure 2.7 : Champs d'application de réseau de capteurs intelligents.

Le tableau suivant englobe l'ensemble de l'éventail des applications de réseau de capteurs intelligents :

Domaine d'application	Types d'utilisation
Militaire	Détection des mouvements ennemis ; reconnaissance des champs de bataille ; incorporation dans les systèmes de guidage des munitions intelligentes ; surveiller l'état des troupes ; la disponibilité des équipements et des munitions ; départ des coups d'artillerie ; détection d'intrusion dans une zone ; estimation des dégâts [87] [88].
Environnement	Détection des feux de forêts ; détection des inondations ; alerte Tsunami ; pollution des eaux/sol/air, météorologie ; surveillance d'habitats des espèces protégées ; suivi de la faune et de la flore ; surveillance des volcans [89] [90] [91] [92] [93] [94] [95].
Energie et réseaux de distribution	Mesure de la consommation en temps réel ; détection des fuites (réseaux eau potable) ; relevé des consommations domestiques [96] [97] [98].
Génie civil et bâtiment	Surveillance d'ouvrages d'art, contrôle des structures des barrages ; surveillance des bâtiments administratifs [99] [100] [101] [102] [103] [104].
Industrie	Diagnostic des machines ; contrôle des procédés de production ; pilotage des robots ; optimisation de la consommation d'énergie. Contrôle de l'usure des outils surveillance des moteurs électriques [105] [106] [107] [108] [109] [110] [111] [112] [113].
Domotique	Maison intelligente ; contrôle des appareils électroménagers ; contrôle de la distribution d'air et de température pour la climatisation [114] [115].
Transport	Parking intelligent ; localisation des véhicules ; contrôle du trafic ; sécurité routière [116] [117] [118].
Médecine	Suivi des personnes fragiles (Alzheimer, vieillesse) ; télésurveillance des informations physiologiques humaines ; suivi et surveillance des médecins et des patients dans l'hôpital ; administration des médicaments [119] [120] [121] [122] [123] [124] [125] [126].
Agriculture	Suivi des taux de pesticides ; contrôle de l'érosion du sol ; contrôle de température et d'humidité dans les serres ; irrigation à distance ; efficacité du système d'irrigation de pâturage en Australie [127] [128] [129].

Tableau 2.3 : Domaines d'application de réseau de capteurs intelligents.

2.5.6. Etat d'art de l'utilisation des capteurs intelligents en monitoring industriel

Historiquement, ce sont les secteurs d'activité à risque comme le secteur aéronautique et militaire, qui ont utilisé les premiers les capteurs intelligents ; aujourd'hui, la plupart des secteurs d'activités sont concernés, notamment le monitoring industriel.

En effet, La tendance pour le monitoring industriel est l'utilisation des capteurs intelligents pour la maintenance prédictive, en effet les machines peuvent être équipées de nombreux capteurs intelligents qui mesurent des grandeurs liées aux paramètres significatifs de fonctionnement comme la pression, la température, le bruit sonore, la vibration ainsi que d'autres paramètres. Ces données seront transmises par la suite et traitées pour aboutir à des modèles dans le cadre d'une solution prédictive, afin de détecter des signes annonciateurs d'une panne avant qu'elle se produise. Ceci traduit un changement radical dans la maintenance prédictive.

L'état d'art suivant englobe les récentes percés technologiques en matière de l'application des capteurs intelligents pour la maintenance prévisionnelle.

Bombardier propose l'intégration d'un système, à base de capteurs intelligents, capable de transmettre au sol, les données sur l'état de santé de l'avion durant le vol. Après l'atterrissage, ces informations pourront être téléchargées via un système Wifi [130]. L'objectif de ce système intégré, vise à travers des mesures plus fines à contribuer à une meilleure analyse prédictive et des recommandations de maintenance mieux ciblées. De plus, la collecte et le traitement de ces données, permettront la numérisation des manuels techniques. L'accès aux informations par les équipes de maintenance, les équipes d'ingénierie, ainsi que les équipes de bord est assuré via des tablettes numériques.

General Electric a créé la plateforme analytique Predictivity dédiée aux Big data, pour initier un projet qui vise à édifier un réseau mondial des machines communicantes via les capteurs intelligents. Cette plateforme appliquée au secteur aéronautique, permet de collecter et d'analyser les données mesurées par des moteurs d'avions, et de proposer des services aux compagnies aériennes. A titre indicatif, le groupe a signé un contrat en 2012, avec la compagnie Airsea. L'objectif était de réaliser des économies entre 20 et 50 millions de Dollars sur cinq ans, grâce à la maintenance prédictive et à un programme de gestion de la consommation de carburant [130].

Le motoriste britannique Rolls Royce fabriquant des moteurs propulsant des avions et des navires à travers le ciel et les océans, a doté ces moteurs par des centaines de capteurs intelligents, qui enregistrent chaque petit détail de leur fonctionnement et signalent tout changement ou dégradation en temps réel au centre de contrôle [131]. Grâce à des techniques analytiques couplées avec une forme d'intelligence artificielle, on pourrait aboutir à une analyse automatisée, et optimiser la maintenance prédictive. Celle-ci permettra de modifier les réglages des paramètres de fonctionnement et d'identifier les actions de maintenance à entreprendre à l'avance, de sorte que les compagnies aériennes puissent planifier des interventions sans pénaliser les usagers. D'autre part, ce type de maintenance permet une gestion aisée de l'approvisionnement pour avoir un stock optimal de pièces de rechanges avec un délai de livraison optimisé afin de couvrir tous les aéroports du monde. En effet, lorsqu'une panne se produit sur un aéroport lointain, la compagnie doit héberger et nourrir les passagers, envoyer un autre avion et mobiliser sur place l'équipe de maintenance avec les pièces de rechanges nécessaires, ce qui présente des coûts supplémentaires et onéreux pour la compagnie.

En industrie aéronautique, le circuit de carburant est l'un des équipements les plus fragiles dans l'avion. Chez Air France et KLM, finies les pannes surprises sur le circuit de carburant de ses Airbus A380. Ces pannes sont désormais détectées 10 à 20 jours avant qu'elles se produisent [132]. Grâce aux capteurs intelligents embarqués qui relèvent les mesures sur sa flotte de 10 Airbus A380, l'analyse de ces mégadonnées via un algorithme d'analyse de comportement de l'avion et de détection de signaux permet de prédire une panne. La décision qui en découle est ensuite immédiatement transférée aux équipes de maintenance. Depuis sa mise en place en Juillet 2015, une panne a été détectée sur la pompe de circulation qui amène le carburant aux moteurs. Air France KLM prévoit l'extension à d'autres organes fragiles des A 380, à partir de Janvier 2016, puis à d'autres avions de la compagnie comme les Boeing 777.

Lancé par Michelin Solutions, le système Effiful, permet à partir de toutes les informations collectées sur une flotte de poids lourds, de réduire la consommation de carburant [133]. Cette optimisation est réalisée grâce à l'analyse d'un ensemble de données issues des capteurs intelligents déployés sur les véhicules comme les opérations de contrôle et de maintenance de pneus, les charges transportées et la vitesse de conduite.

C'est le cas aussi pour US Express, entreprise de transports aux USA, qui gère une flotte de 9200 camions, en exploitant des données de localisation, de consommation et de l'état des véhicules fournies par des capteurs intelligents, a pu identifier chaque véhicule de sa flotte et mettre en place des processus de maintenance adaptés. Ainsi, la société a pu économiser 6 millions de Dollars par an [134].

Dans le domaine ferroviaire, les capteurs intelligents ont permis aux techniciens de la SNCF, qui effectuaient auparavant des tournées régulières à bord de leurs camionnettes, pour vérifier l'état des réchauffeurs d'aiguillage, de connaître l'état de ces installations sans même se déplacer.

De plus, La SNCF, via Colas Rails, Filiale du groupe Bouygues dédiée aux travaux ferroviaires, propose de placer une rondelle connectée par un capteur intelligent au niveau du serrage de l'éclisse, pièce en métal qui permet d'unir mécaniquement deux rails bout à bout. Chaque jour la rondelle transmet des données sur son niveau de serrage à un serveur central qui analyse cette information. Ainsi, une alerte peut être générée en temps réel en cas de rupture de l'élément de serrage. D'autre part l'évolution de la tendance de serrage permet de planifier des opérations de maintenance juste à temps afin de fiabiliser les rails. Cette percée technologique constitue un grand thème d'innovation en 2016 [135].



Figure 2.8 : Éclisse pour rails de chemin de fer.

D'autre part, l'entreprise Quinten spécialisée dans la valorisation des données, en analysant les données extraites des capteurs intelligents durant six mois de fonctionnement des machines tournantes pour un client, a pu identifier le problème qui engendre deux dysfonctionnements majeurs et pour lequel il était impossible d'en découvrir la cause.

En fait, le traitement des mesures a montré qu'une certaine configuration très spéciale de la température et de pression s'était produite juste avant la panne. Ainsi, l'entreprise disposera pour le moins, d'informations pour éviter que la panne se reproduise [136]. De même, l'entreprise Wonderware a fourni à l'un de ses clients, un système d'analyse prédictive pour identifier une légère variation dans les batteries de condensateurs. En effet, au lieu d'attendre la défaillance d'un plus grand nombre de condensateurs, on reçoit une alerte notifiant le début de dégradation de fonctionnement, grâce à l'utilisation d'un logiciel qui traite les données collectées par les capteurs intelligents [137].

Dans l'industrie des voitures de la formula 1, chaque voiture est équipée de plus de 200 capteurs intelligents, qui surveillent en temps réel une multitude d'éléments comme le moteur, le rendement énergétique sans oublier, la température des pneus et des disques de frein. Grâce à une infrastructure sans fil à haut débit, des mégadonnées sont transmises pour le staff technique, afin d'en tirer des conclusions et procéder à des modifications adaptées en temps réel, pour gagner la course [138].

Le groupe Thyssenkrupp Ascenseurs, qui dispose d'un parc de 1,1 millions d'ascenseurs, à surveiller chaque année ; vise à repousser les limites de la maintenance en proposant des ascenseurs avec une longévité radicalement améliorée [139]. En connectant les capteurs intelligents et les systèmes des ascenseurs au cloud, le groupe pourrait collecter les informations qui alimentent le système de monitoring. Ainsi, lorsque l'ascenseur rapporte un problème, il envoie un code d'erreur avec trois ou quatre causes les plus probables relatives à ce code. Ceci présente un intérêt majeur dans la mesure où on dispose d'une vision concernant quel ascenseur a besoin de maintenance et à quel moment. Ce sont les ascenseurs qui anticipent eux même les réparations dont ils ont besoin.

Dans le domaine naval, la référence [140] s'intéresse au diagnostic à distance de l'huile de lubrification marine, à l'aide de capteurs intelligents, en développant un logiciel pour surveiller en continu le système de lubrification d'un navire. Ceci, dans le but d'avoir une compréhension précise de l'état de l'usure du moteur, qui est l'élément principal dans le système de propulsion d'un navire.

2.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté à travers une étude bibliographique, un état des connaissances et des pratiques de la surveillance et des capteurs intelligents. En effet, dans un premier temps nous avons introduit les notions relatives à la surveillance, dans l'objectif de cerner les principales fonctions à savoir : la détection et le diagnostic. Ensuite nous avons présenté une revue de littérature concernant la surveillance basée sur les outils de l'intelligence artificielle. Dans ce sens, l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle fait l'objet de nombreuses recherches. Cet intérêt est justifié par sa capacité de surveiller sans modéliser le système, dans un environnement dynamique caractérisé par des adaptations et des reconfigurations permanentes. En fait, l'intelligence artificielle offre des outils découplés de la structure du système à surveiller, ne nécessitant pas la modélisation préalable de ce dernier, et permettant ainsi un suivi en temps réel de son évolution. Par la suite, nous avons introduit la notion de nœud capteur en décrivant ses différents constituants. De même, nous avons mis le point sur la notion de réseau de capteurs intelligents, en mettant l'accent sur les différentes topologies d'un tel réseau, les protocoles de communications les plus répandus, leurs propriétés vis-à-vis au débit de transfert, la bande de fréquence, la portée et la consommation énergétique. La dernière partie de ce chapitre a été destinée à la présentation de l'éventail des applications de réseau de capteurs intelligents allant du domaine militaire jusqu'à la domotique, en passant par le monitoring industriel et la maintenance prédictive, dont l'usage de réseau de capteurs intelligents connaît un grand essor.

Afin d'appréhender tous les aspects relatifs au système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, et afin de décortiquer tous les éléments de ce système, une analyse fonctionnelle s'impose. D'autant plus qu'une telle analyse permet de synthétiser les besoins auxquels devrait répondre un tel système, et dont l'objectif est de réussir sa mise en œuvre. Cette perspective est traitée par le chapitre suivant. D'autre part, la mise en œuvre d'un système de télésurveillance est une tâche délicate et complexe pour les industriels, dans la mesure où il est nécessaire d'identifier pertinemment les verrous scientifiques et les barrières réelles relatives à l'intégration, et au déploiement de ce système.

Chapitre 3

Analyse fonctionnelle et diagnostic de l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents

3.1. Introduction

Ce chapitre cible deux objectifs, le premier consiste à appréhender la notion de télésurveillance pour élaborer une analyse fonctionnelle d'un système de télésurveillance. Cette analyse du système de télésurveillance à base de capteurs intelligents permet de synthétiser les besoins auxquels répond un tel système. Autrement dit, la vocation de cette analyse est de décrire comment les composants du système de télésurveillance, participent à la réalisation des fonctions relatives à la télésurveillance. Quant au second objectif, il s'agit de cerner les différents aspects relatifs à la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, grâce à l'identification des verrous scientifiques et les barrières réelles relatives à l'intégration et au déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Ainsi, nous allons dans un premier temps mettre l'accent sur les verrous scientifiques relatifs à l'intégration d'un système de télésurveillance. Dans un second temps, nous allons présenter notre démarche pour élaborer le questionnaire. Finalement, nous allons présenter des résultats de cette enquête menée auprès des entreprises industrielles marocaines qui opèrent dans différents secteurs. Cette enquête constituera un premier diagnostic de l'état d'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, pour les entreprises marocaines. L'objectif est d'évaluer les verrous et les contraintes et de constituer des points de repères dans un contexte industriel marocain.

3.2. Définitions de la télésurveillance et de ses fonctions

La mise en œuvre d'une stratégie de maintenance prévisionnelle nécessite :

- de réaliser des mesures périodiques ou continues de paramètres observables et significatifs de l'état de dégradation du système de production avec l'usage d'un appareillage approprié ;
- De valider ces données, d'analyser leur évolution et d'établir un diagnostic en cas d'anomalie [141] ;
- de planifier des interventions de maintenance en fonction de la prévision du franchissement des seuils prédéfinis ou lorsque les signes courus de défaillances apparaissent.

Sur la base de ces préconisations, et en faisant une projection sur un système de télésurveillance, qui fait appel à la notion de surveillance à distance et en temps réel, ce système doit remplir certaines fonctions.

Il s'agit des fonctions : surveiller à distance, diagnostiquer à distance et réaliser un pronostic de l'état du système de production, sujet de la télésurveillance, ainsi que le paramétrage à distance. Ceci dans le but, d'anticiper les défaillances par la mise en œuvre d'un plan de maintenance, dans le cadre d'une fonction d'aide à la décision.

Ainsi, la télésurveillance des systèmes de production, est un ensemble d'actes et de processus, utilisant la transmission à distance de données provenant des capteurs installés sur ces systèmes, ainsi que les nouvelles technologies de l'information et de communication. Ceci, dans le but de permettre à un professionnel de maintenance de prendre une décision au niveau des actions de la maintenance, suite au traitement et analyse de ces données par des moyens et outils spécifiques [142].

Autrement dit, La télésurveillance vise à récupérer à distance une information, qui fera l'objet d'un traitement et sera sanctionnée par une prise de décision concernant la nécessité d'intervenir ou non.

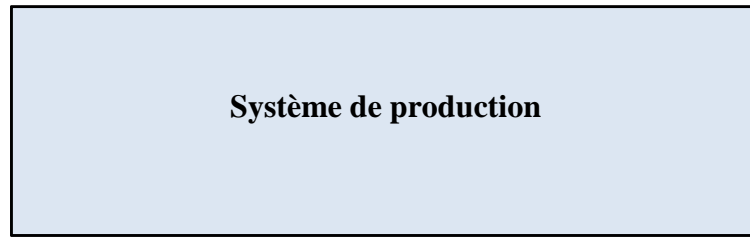
L'avancée des technologies des télécommunications et de l'électronique a permis d'offrir des perspectives intéressantes dans l'utilisation de système de la télésurveillance des systèmes de production.

La figure suivante présente l'architecture générale d'un système de télésurveillance. On y retrouve les quatre grandes fonctions qui se traduisent par les actions suivantes : Acquérir, Agréger, Exploiter et analyser, et Agir. Celles-ci sont nécessaires à une bonne surveillance. La fonction d'acquisition s'appuie sur les données acquises par les capteurs intelligents déployés au niveau du système de production à surveiller, et transmet à l'opérateur des informations plus ou moins élaborées.

Le professionnel de la maintenance analyse les informations reçues et décide des actions à entreprendre à travers les actionneurs qui permettent d'agir sur le système de production (reconfiguration, réglage...), ou en terme d'interventions de maintenance.

Du point de vue fonctionnel, un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents intègre quatre phases principales :

- Une phase d'acquisition des données : elle consiste à acquérir les données à distance grâce au réseau de capteurs déployés sur le système de production ;
- Une phase d'agrégation des données : cette phase caractérise le stockage et la diffusion des informations via des serveurs informatiques et des technologies de connexion mobile. Ce sont ces informations qui constitueront les entrées du modèle d'analyse prédictive ;
- Une phase d'exploitation et analyse des données : elle consiste en une analyse prévisionnelle dont le but est la détection des défaillances ou de signes coureurs de celles-ci ;
- Une phase de prise de décision : c'est la dernière phase du processus de télésurveillance, et qui permettra au responsable du service de maintenance, de prendre une décision en ce qui concerne les actions à entreprendre, suite aux résultats de l'analyse. Cette décision portera soit sur les reconfigurations ou les réglages à faire sur le système de production, soit sur les tâches de maintenance à exécuter.



Acquérir à distance	Agréger	Exploiter et Analyser	Agir
Les mesures des paramètres significatifs de fonctionnement du système de production.	Stockage et diffusion des informations.	Traitement des données pour la détection de la défaillance ou l'évolution des signes coureurs de défaillance.	Actions à entreprendre au niveau de la maintenance ou reconfiguration du système de production

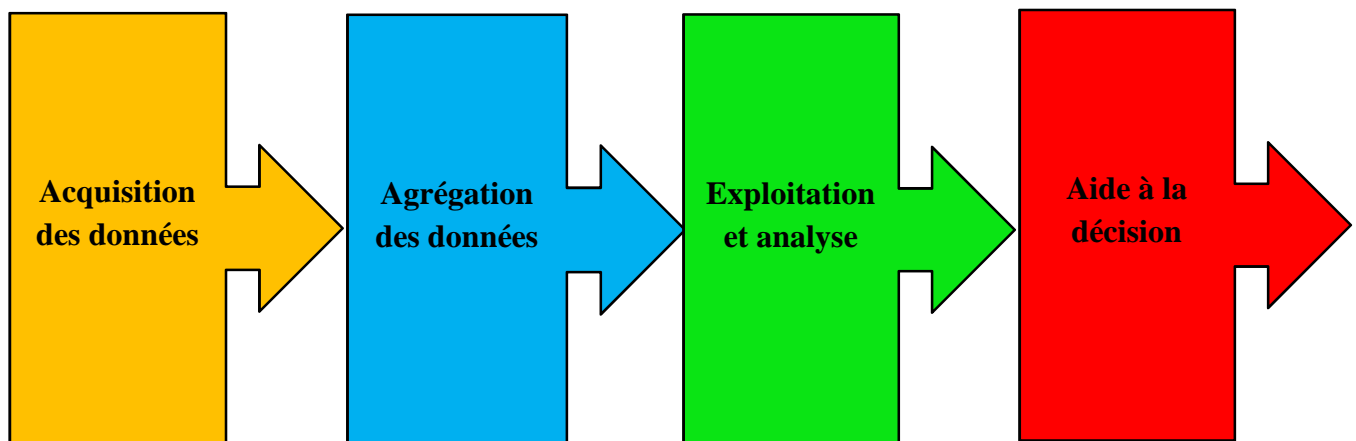


Figure 3.1 : Description d'un système de télésurveillance.

3.3. Analyse fonctionnelle d'un système de télésurveillance

L'analyse fonctionnelle, est un outil générique d'aide à la conception d'un système de télésurveillance, dans la mesure où elle permet de synthétiser les besoins auxquels répond un tel système. En effet, elle consiste à raisonner en termes de besoins à satisfaire exprimés sous forme de fonctions à remplir avec des critères dans un environnement donné.

L'objet de cette analyse est de décrire comment les composants du système participent à la réalisation de ces fonctions. Evidemment, à ce stade, il faut avoir défini le nombre de composants et le mode de fonctionnement du système. Cette analyse s'effectue donc, après une première esquisse de l'architecture du système.

L'analyse fonctionnelle permet de réaliser une conception pertinente et juste du système, dans la mesure où elle garantit une bonne prise de connaissance de l'ensemble des facteurs matériels, humains, et environnementaux.

Ainsi, la phase préliminaire, consiste à définir les principaux éléments de l'environnement, en interaction avec le système de télésurveillance [142].

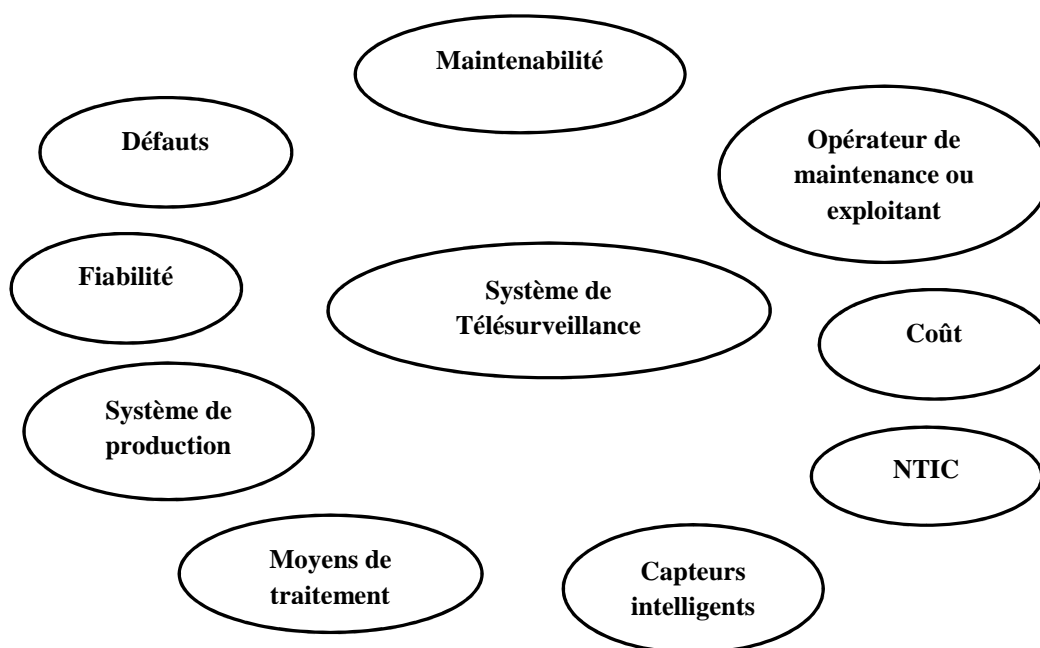


Figure 3.2 : Eléments environnementaux d'un système de télésurveillance [142].

Le système de télésurveillance doit prendre en compte la spécificité du système de production à surveiller, avec ses éventuels défauts, les technologies des capteurs intelligents, les exigences de coût, de fiabilité, et de maintenabilité. De plus il doit garantir le confort d'interprétation pour l'opérateur de maintenance, en tenant compte de sa mobilité, tout en exploitant les NTIC.

Afin de contribuer à la conception d'un système de télésurveillance, une démarche rigoureuse est nécessaire, afin de préciser les relations qui existent entre les éléments de l'environnement du système.

Pour ce faire, nous allons définir les fonctions de service, dissociées en fonctions principales **FP**, et en fonctions contraintes **FC**. Ainsi, le diagramme pieuvre d'un système de télésurveillance est le suivant :

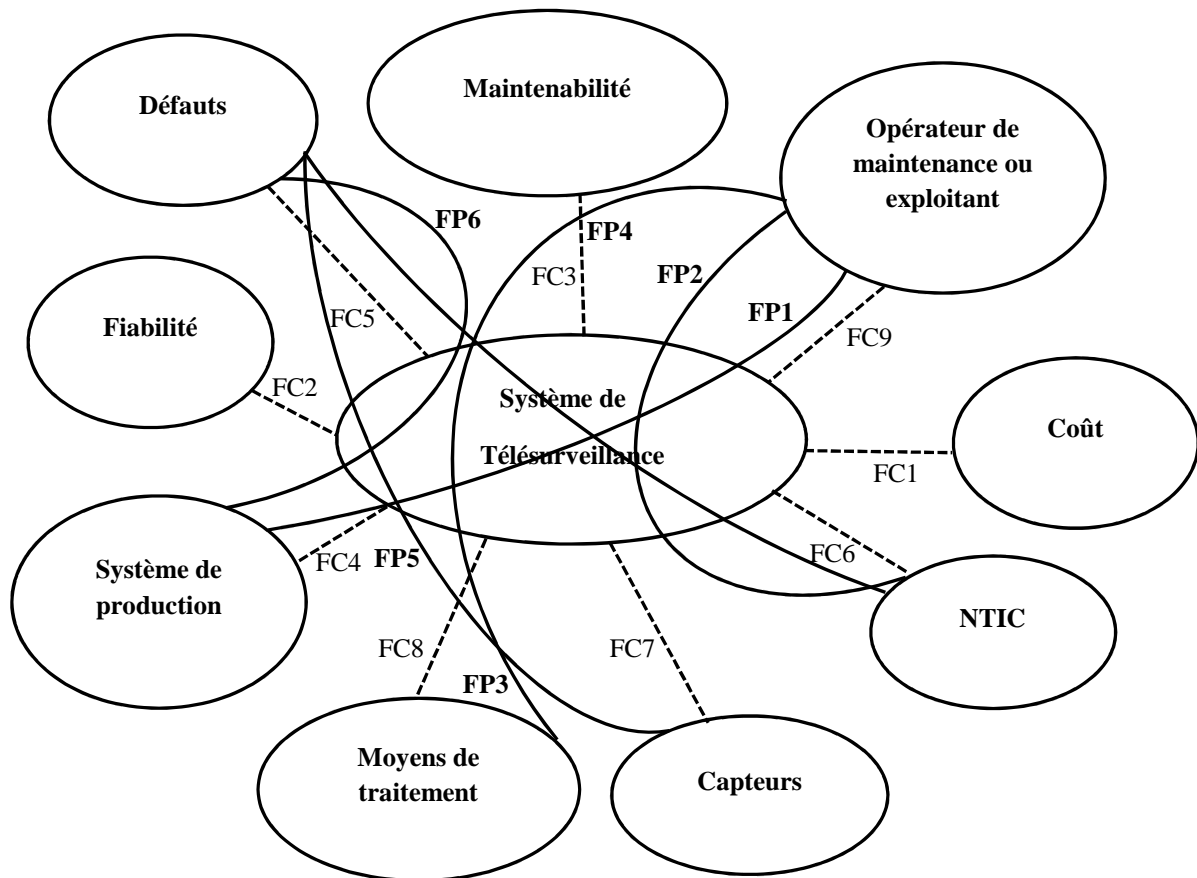


Figure 3.3 : Diagramme pieuvre d'un système de télésurveillance [142].

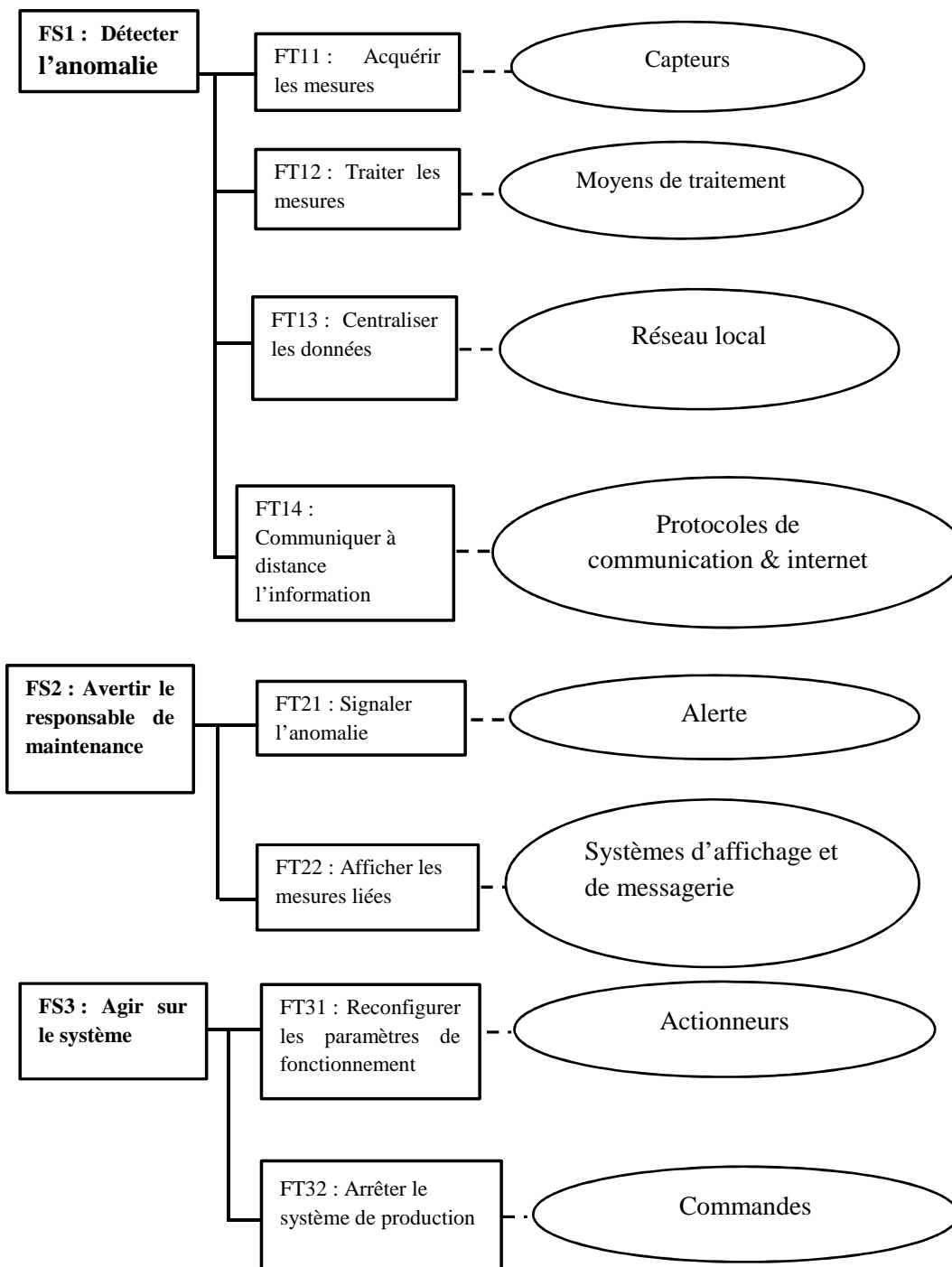
Chapitre 3 : Analyse fonctionnelle et diagnostic de l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents

Les fonctions principales ainsi que les fonctions contraintes sont regroupées dans le tableau suivant :

Fonction principale 1	Permettre à l'opérateur de maintenance de surveiller facilement l'évolution du système de production
Fonction principale 2	Informar à distance et faciliter la prise de décision à l'aide des NTIC
Fonction principale 3	Assurer la traçabilité et l'archivage des données sur les défauts, pour constituer la base d'apprentissage
Fonction principale 4	Définir les moyens de traitements nécessaires et suffisants au diagnostic par l'opérateur de maintenance
Fonction principale 5	Définir les capteurs de mesures selon la nature de défauts possibles
Fonction principale 6	Identifier une base de données de défauts à surveiller sur le système de production.
Fonction contrainte 1	Elaborer un système de télésurveillance, le moins onéreux possible
Fonction contrainte 2	Permettre d'avoir une grande fiabilité
Fonction contrainte 3	Garantir une maintenabilité des composants du système
Fonction contrainte 4	Tenir compte des caractéristiques et paramètres des constituants du système de production
Fonction contrainte 5	Etre reconfigurable, suite à l'apparition de nouveaux défauts sur le système.
Fonction contrainte 6	Faciliter l'intégration et l'exploitation des NTIC
Fonction contrainte 7	Etre capable d'intégrer facilement les technologies de capteurs
Fonction contrainte 8	Permettre la mise à jour des moyens de traitement
Fonction contrainte 9	Prendre en considération les exigences et les limitations de l'opérateur de maintenance

Tableau 3.1 : Fonctions principales et contraintes d'un système de télésurveillance.

Afin de définir toutes les fonctions constructives de notre système de télésurveillance, à partir des fonctions de services que doit remplir le système, nous avons élaboré un diagramme FAST (Functional Analysis System Technic). D'autre part, ce diagramme FAST, permettra d'éclaircir les choix techniques de notre système de télésurveillance grâce à l'établissement des fonctions techniques [143].



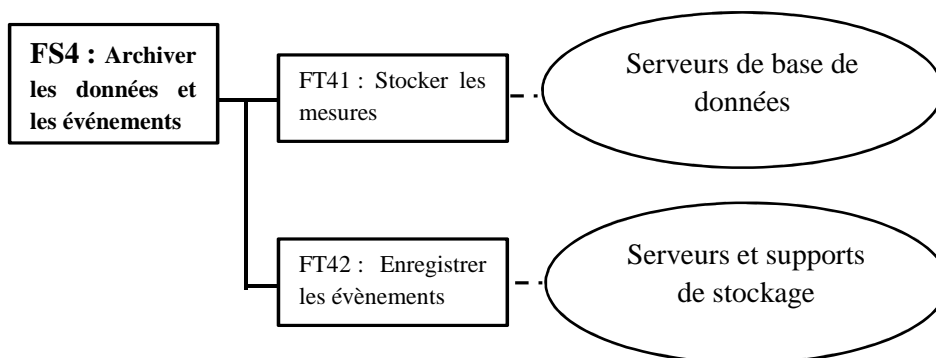


Figure 3.4 : Diagramme FAST d'un système de télésurveillance [143].

3.4. Verrous de l'intégration et du déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents

La mise en œuvre et le déploiement des technologies d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents dans l'entreprise pour une exploitation en maintenance prévisionnelle évoquent certains verrous. Ceux-ci peuvent être classés selon des verrous et problématiques d'ordre technique, financier, éthique, juridique, et d'autres relatifs à la résistance au changement, aux ressources humaines de l'ensemble de l'entreprise industrielle, et à la fusion de données hétérogènes.

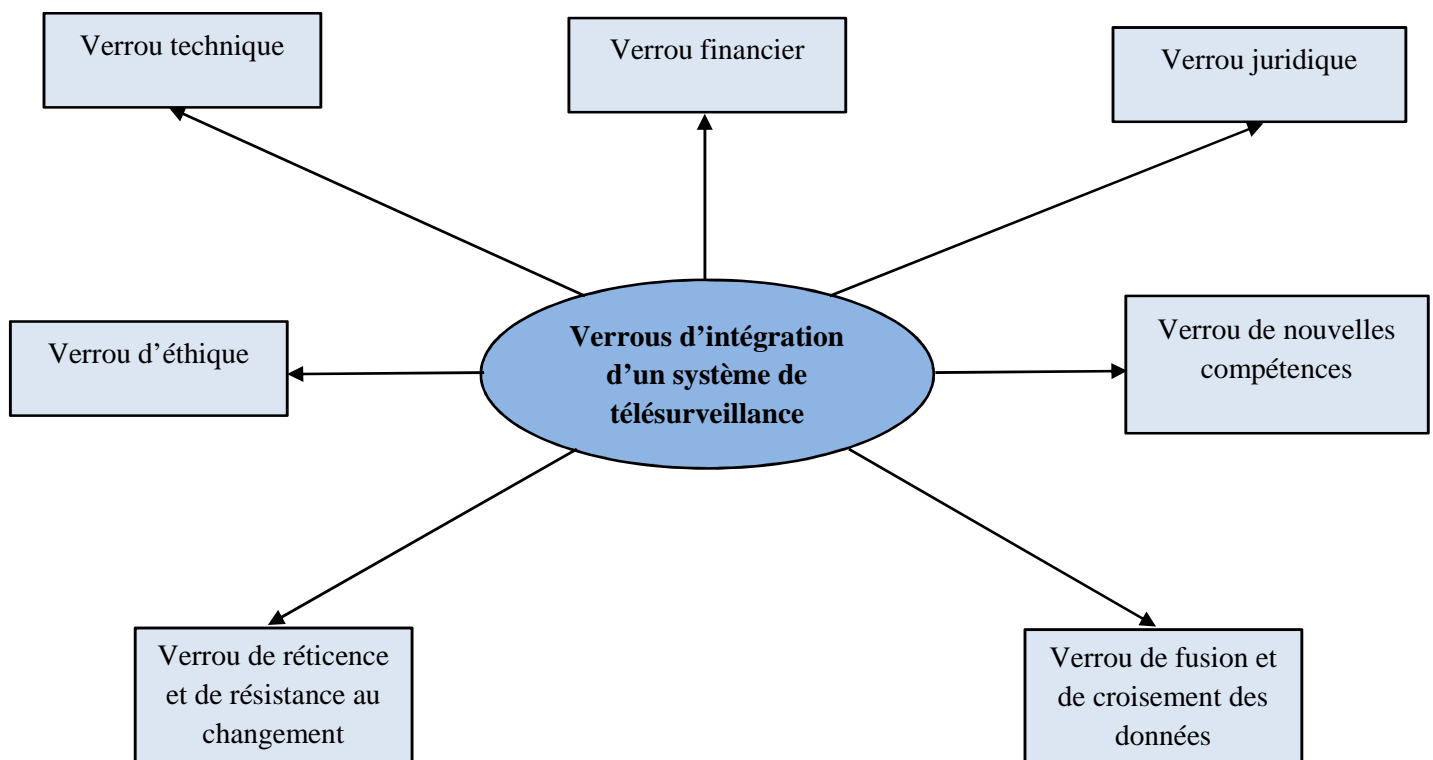


Figure 3.5 : Verrous d'intégration d'un système de télésurveillance.

3.4.1. Verrou technique

Le déploiement d'un système de télésurveillance intelligent, nécessite la mise en place de plusieurs systèmes à savoir : le système de réseau de capteurs intelligents, le système de stockage de données et le système d'analyse prédictive. De plus, il faut réfléchir aux outils qui permettront d'interfacer l'ensemble de la chaîne de mesure. Il faut aussi mentionner la maintenance de ces systèmes, ainsi que la transmission des données dans un environnement critique, dans lequel ces capteurs, doivent être capables de communiquer leurs positions et leurs paramètres de fonctionnement, via une connexion fiable et permanente. D'autre part, la gestion de l'acquisition des données, avec le stockage et le traitement constitue une problématique pour le service maintenance.

3.4.2. Verrou financier

L'intégration d'un système intelligent de télésurveillance dans l'entreprise pour une application de maintenance prévisionnelle nécessite un investissement. Cet investissement initial est destiné à l'acquisition des systèmes et des réseaux qui vont gérer le système de télésurveillance, ainsi qu'à l'énergie nécessaire pour le fonctionnement. Les études économiques établies par les fabricants ou organisations d'études de marché tels qu'ARC Advisor Group montrent que le retour sur investissement attendu est de l'ordre de 10 % pour l'investissement Capex (Capital Expenditure) et est estimé à 20 % pour l'exploitation Opex (Operating Expenditure). Néanmoins, lorsqu'un utilisateur industriel veut investir dans cette technologie de système de télésurveillance, son investissement va beaucoup plus loin que l'acquisition et l'exploitation de la technologie [144]. Sans être exhaustif, l'utilisateur industriel devra prévoir dans son budget la formation de son personnel au produit (instrument, protocole réseau), à de nouvelles compétences (l'instrumentiste devra acquérir des connaissances dans les réseaux) et aussi l'adaptation de ses méthodes et de ses manuels de maintenance pour intégrer les services offerts par ces nouvelles technologies.

3.4.3. Verrou juridique

Elle concerne les aspects légaux, les nouveaux modèles et les cadres juridiques d'utilisation des systèmes de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Ces cadres juridiques traiteront aussi, le secret industriel et les données sensibles du service maintenance et en général de l'entreprise. Le cadre juridique touchera aussi la sécurité numérique des données, puisqu'ils peuvent être la cible de sabotages ou d'attaques par des virus informatiques qui constituent des attaques virtuelles, pouvant avoir des répercussions physiques.

De plus, la mise en œuvre des vêtements connectés sur les opérateurs de maintenance requière aussi un cadre juridique pour éviter les conflits syndicaux [145].

3.4.4. Verrou d'éthique

Il est engendré par le fait d'être munis en permanence d'une tablette ou d'un smartphone notamment en dehors des horaires de travail. Ceci pourrait être considéré comme atteinte à la vie privé des opérateurs, et aura un caractère invasif pour ceux-ci. Il faut aussi signaler dans ce contexte, que les opérateurs pourront manifester un refus envers le port des équipements connectés à base de capteurs intelligents pour un éventuel suivi de l'état de santé des opérateurs de maintenance, leur respect vis-à-vis au port des équipements de protection individuelle, ainsi que leurs comportements lors des interventions de maintenance. Ceci pourrait contribuer à une réticence de leur part, voire même l'absence d'envie envers le système de télésurveillance. Ainsi une réflexion est nécessaire pour éviter tout débordement [145].

3.4.5. Verrou lié à la réticence et à la résistance au changement

L'intégration d'une nouvelle technologie engendre souvent des résistances qui sont dues à l'incertitude des performances et de la maîtrise de ces nouvelles technologies, ce qui pourrait contribuer à une absence d'envie et une méfiance de la part des travailleurs. En effet, le fait de mettre les tablettes, qui permettent l'interfaçage des données, à la disposition de ces derniers peut être considéré comme un fardeau et un travail de plus, qui les incitera à fournir un effort supplémentaire, et qui va les obliger à rester en suivi permanent du système de production [145].

3.4.6. Verrou de nouvelles compétences

Il contribue à la naissance de nouveaux métiers et compétences qui doivent être mis en place dans les entreprises. En effet, afin de gérer les systèmes de télésurveillance, les industriels se trouveront dans l'obligation d'intégrer de nouvelles compétences et de nouveaux métiers. Ceux-ci concerneront l'implémentation des réseaux de capteurs intelligents, les interfaces qui y sont rattachées et la gestion des données.

De plus, la mise en œuvre d'un tel système contribuera à la naissance de nouveaux métiers d'ergonomes. Leur tâche principale est la création d'interfaces adaptées aux conditions de travail et d'usage [145].

3.4.7. Verrou de fusion et de croisement des données

Les capteurs intelligents utilisent des technologies hétérogènes et propriétaires, aussi bien au niveau matériel (architecture et composants, interfaces de communication) que logiciel (interfaces de programmation, protocoles) [146]. En fait, un problème majeur des capteurs intelligents est le manque de normes : les capteurs similaires de différents fabricants utilisent des formats de données complètement différents et génèrent des données à des fréquences différentes. En outre, l'hétérogénéité se traduit par le fait que d'une famille de capteurs à une autre, les propriétés de mesure peuvent varier telles que la précision, la résolution, la sensibilité, la plage de mesure, voire le temps de réponse, etc...

De plus, la prise de décision implique un ensemble de connaissances a priori relatives au système de production télésurveillé et à son environnement. Il s'agit de données et de connaissances extraites de l'apprentissage au cours du fonctionnement du système de production. Ainsi, une appréhension complète et fiable de l'état de fonctionnement du système de production et de son évolution est obtenue à tout niveau de décision par l'analyse d'un ensemble de données, et de connaissances et informations relatives au système de production impliquant :

- Les données numériques issues des capteurs intelligents ;
- Un ensemble de données symboliques ;
- Une base de connaissances constituée d'informations à priori : il peut s'agir de seuils prédéfinis sur certains paramètres significatifs de fonctionnement dans le cadre d'une alarme prévisionnelle, puis enrichies au cours du fonctionnement du

système de production par les résultats d'apprentissage réalisé à partir des données précédentes.

La question fondamentale d'analyse de ces grands ensembles de données hétérogènes pour prendre une décision à tout moment, sur les actions à entreprendre au niveau du système de production par le professionnel de la maintenance, peut se définir comme un problème de fusion de données. D'après la référence [147], "un processus de fusion de données permet, grâce à la combinaison d'informations hétérogènes provenant de différents capteurs pouvant être géographiquement répartis, de fournir une représentation synthétique de l'univers d'intérêt". Quant à la référence [148], il propose une définition plus générale relative à la fusion d'informations, qui consiste à "combinaison de données issues de plusieurs sources afin d'améliorer la prise de décision".

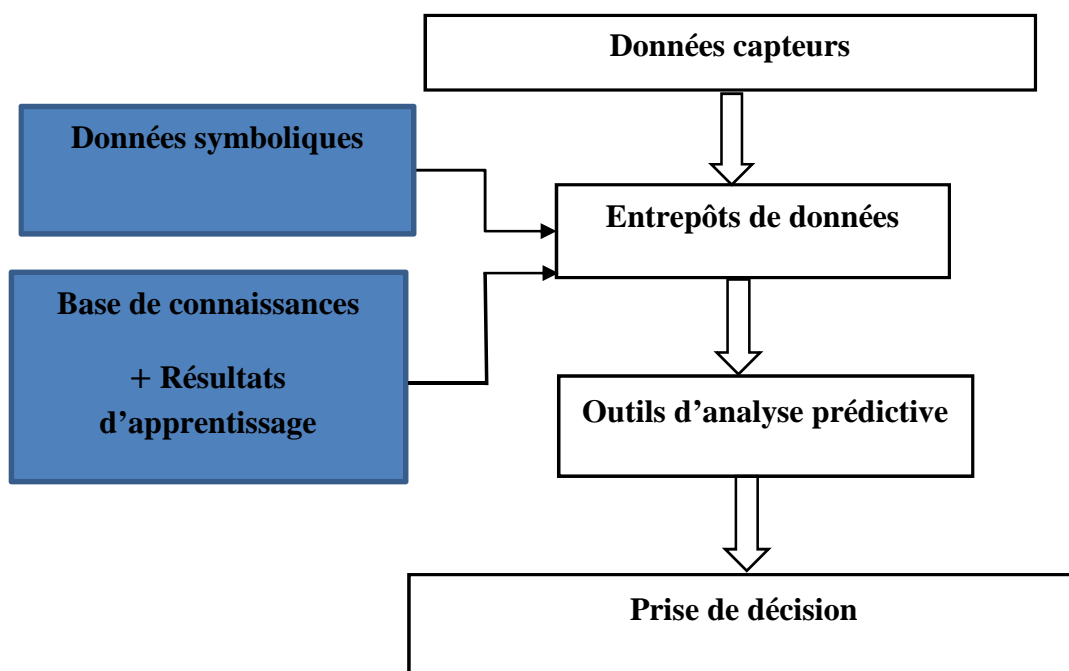


Figure 3.6 : Fusion de données et prise de décision.

3.5. Démarche de l'enquête

L'intégration est l'effort d'une organisation pour des relations interindividuelles et inter fonctionnelles plus étroites [149]. Ainsi l'intégration consiste en une destruction de l'ensemble des barrières techniques, organisationnelles et humaines [150]. Dans notre contexte, ces barrières entravent la mise en œuvre, et le déploiement d'un système de télésurveillance, dans l'environnement industriel. Afin de cerner, les différents aspects relatifs à l'intégration et au déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents en milieu industriel, nous avons mené une enquête, dont le questionnaire est constitué de huit axes distincts. La finalité de ce questionnaire est d'avoir des points de repère relatifs aux domaines, technique, financier, organisationnel et humain, du contexte industriel marocain. D'autre part l'analyse de l'enquête basée sur ce questionnaire, permet d'éviter l'échec d'un projet de mise en œuvre d'un système de télésurveillance en maîtrisant tous ses aspects relatifs à sa mise en œuvre. Les questions rapportées à chaque axe du questionnaire, peuvent avoir des réponses affirmatives ou des réponses multiples.

3.5.1. Définition des axes du questionnaire

3.5.1.1. Identification de l'entreprise

Cet axe est dédié à l'identification de l'entreprise, à travers sa raison social, son secteur industriel, sa taille, ainsi que sa nature publique ou privée, ou si elle appartient à un groupe multinational.

3.5.1.2. Accès à internet et usage des supports matériels de l'informatique

Cet axe permet d'évaluer l'importance de l'utilisation et de la diffusion de l'informatique et ses supports matériels comme les PC portables, les tablettes, les smartphones et les PDA (Personal Digital Assistant). Cet axe renseigne aussi sur l'accès de l'entreprise à Internet.

3.5.1.3. Données concernant la maintenance au sein de l'entreprise

Cet axe renseigne sur les politiques de maintenance adoptées au sein de l'entreprise industrielle, et quelles sont les politiques les plus prédominantes. De plus, cet axe permet de porter des réponses sur la faculté du service maintenance en particulier, et de l'entreprise en général, en matière de compétences et de ressources matérielles pour migrer vers la maintenance prévisionnelle.

3.5.1.4. Connaissances et informations relatives à un système de télésurveillance

Cet axe concerne des connaissances et des informations relatives à un système de télésurveillance, comme la technologie de capteurs utilisée (capteurs classiques, intelligents ou hybrides), les prestataires qui existent sur le marché. D'autre part, il renseigne sur l'ordre de grandeur du retour d'investissement, le degré d'urgence de la mise en œuvre d'un système de télésurveillance, ainsi que son impact sur le développement durable.

3.5.1.5. Apports techniques

Cet axe est consacré aux apports techniques d'un système de télésurveillance à l'entreprise, à travers son impact sur la fiabilité, la disponibilité, l'archivage des données des défaillances, ainsi que la sécurité. De plus, cet axe permet d'avoir des réponses sur l'impact d'un tel système sur la qualité des produits finis, l'optimisation des gestes métiers, ainsi que sur la prise de décision en temps réel.

3.5.1.6. Usage des capteurs intelligents

L'objectif de cet axe est d'avoir des informations relatives à l'usage des capteurs intelligents, les critères de choix, les standards et les protocoles de communication qui s'y rattachent. De plus cet axe permet de collecter les opinions sur la qualité de service du système de télésurveillance quel soit à base de capteurs classiques, ou à base de capteurs intelligents ou hybride.

3.5.1.7. Aspects économiques

Cet axe traite les aspects économiques qui résultent de l'intégration d'un système de télésurveillance intelligent. Ces aspects sont relatifs, à la consommation de l'énergie, l'impact du système sur la réduction du nombre du personnel de la maintenance, ainsi que la rentabilité du système.

3.5.1.8. Verrous liés à la mise en œuvre d'un système de télésurveillance

Ce dernier axe permet d'avoir des réponses sur les verrous scientifiques, et les barrières réelles, qui pourraient présenter une entrave aux industriels. Ces verrous d'ordre technique, financier, éthique, juridique, et d'autres relatifs à la résistance au changement, aux ressources humaines de l'ensemble de l'entreprise industrielle, et à la fusion de données hétérogènes. L'objectif est de quantifier réellement ces verrous dans un contexte industriel marocain, afin de dégager des mesures à entreprendre pour les surmonter.

3.6. Outil statistique

L'élaboration pratique du questionnaire a été faite en utilisant le logiciel Sphinx comme outil statistique. Sphinx est un logiciel d'enquête et d'analyse de données qui permet la conception du questionnaire, la saisie et le dépouillement des données, ainsi que les traitements quantitatifs et l'analyse de celles-ci [151].

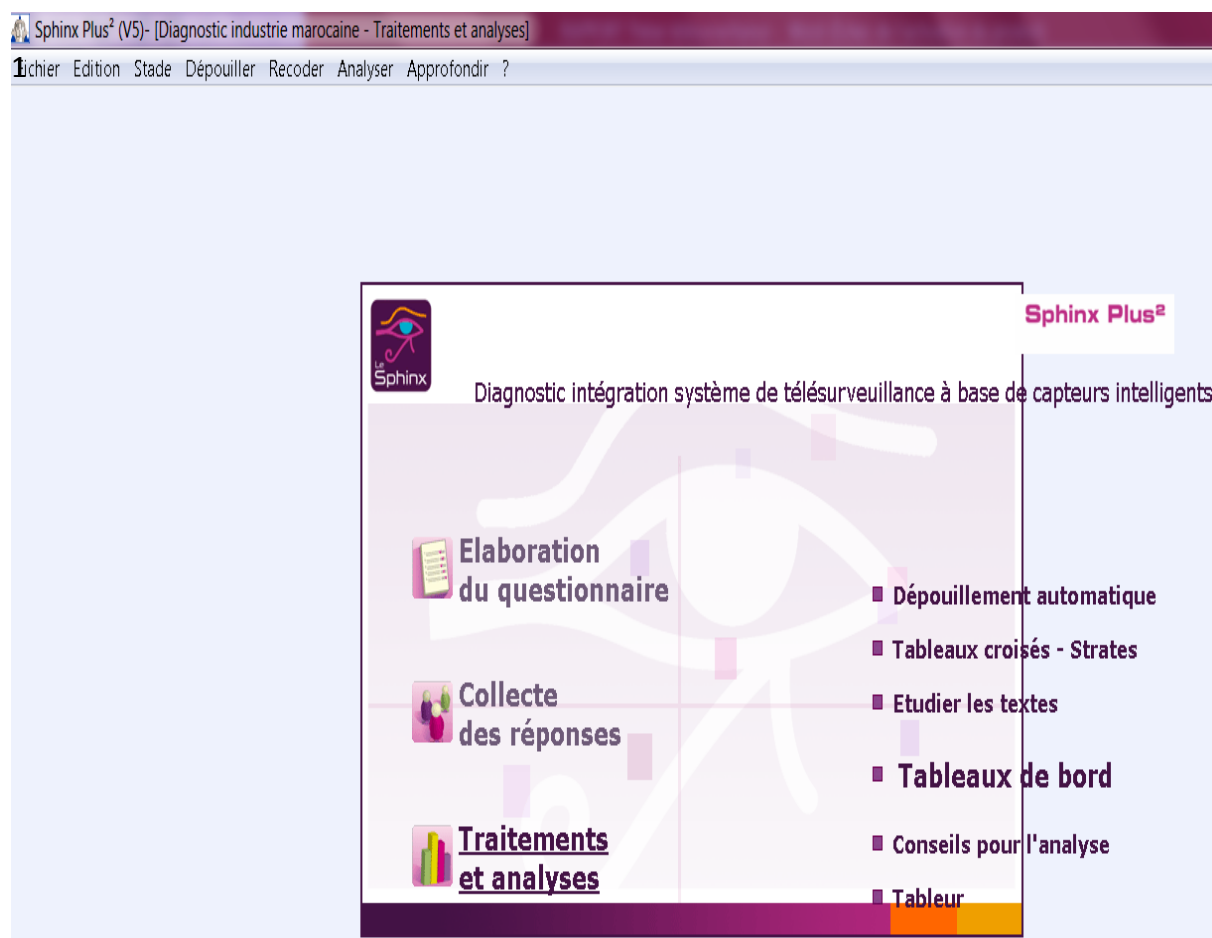


Figure 3.7 : Logiciel Sphinx Plus².

Une fois la réalisation du questionnaire numérique a été terminée, il a été soumis aux chefs d'entreprises, aux cadres supérieurs, aux cadres moyens, aux techniciens et à des agents de maîtrise. Le questionnaire a été soumis à plusieurs entreprises qui opèrent dans différents secteurs, 60 entreprises ont répondu parmi l'ensemble des entreprises ciblées et estimées à plus de 200 entreprises.

Pour une meilleure qualité des réponses et pour garantir un taux de réponses assez élevé, le questionnaire a été administré par deux manières : la première consiste en une

entrevue personnelle, quant à la seconde, il s'agit d'un auto dénombrement, dans lequel le questionnaire est complété par le répondant lui-même. Après avoir collecté les réponses auprès des entreprises industrielles ciblées, l'étape suivante est la saisie des données dans le logiciel. La dernière étape de cet outil statistique, est l'étape la plus importante. En fait, il s'agit de traiter les données quantitatives et présenter des statistiques concernant les divers axes du questionnaire déjà élaboré. Sphinx offre cette possibilité grâce à un tableau de bord détaillé qui permet de synthétiser et résumer les résultats.

3.7. Analyse et interprétation des résultats

Dans cette phase d'analyse, deux niveaux sont à prendre en considération : le premier niveau concerne le tri à plat qui consiste à étudier successivement chaque variable, sous forme de tableaux ou graphiques. En ce qui concerne le second niveau, il s'agit de l'analyse bivariée qui permet de traiter simultanément deux variables, afin d'évaluer la relation qui peut exister entre deux questions. Dans notre étude, nous allons présenter les résultats de l'enquête par tri à plat.

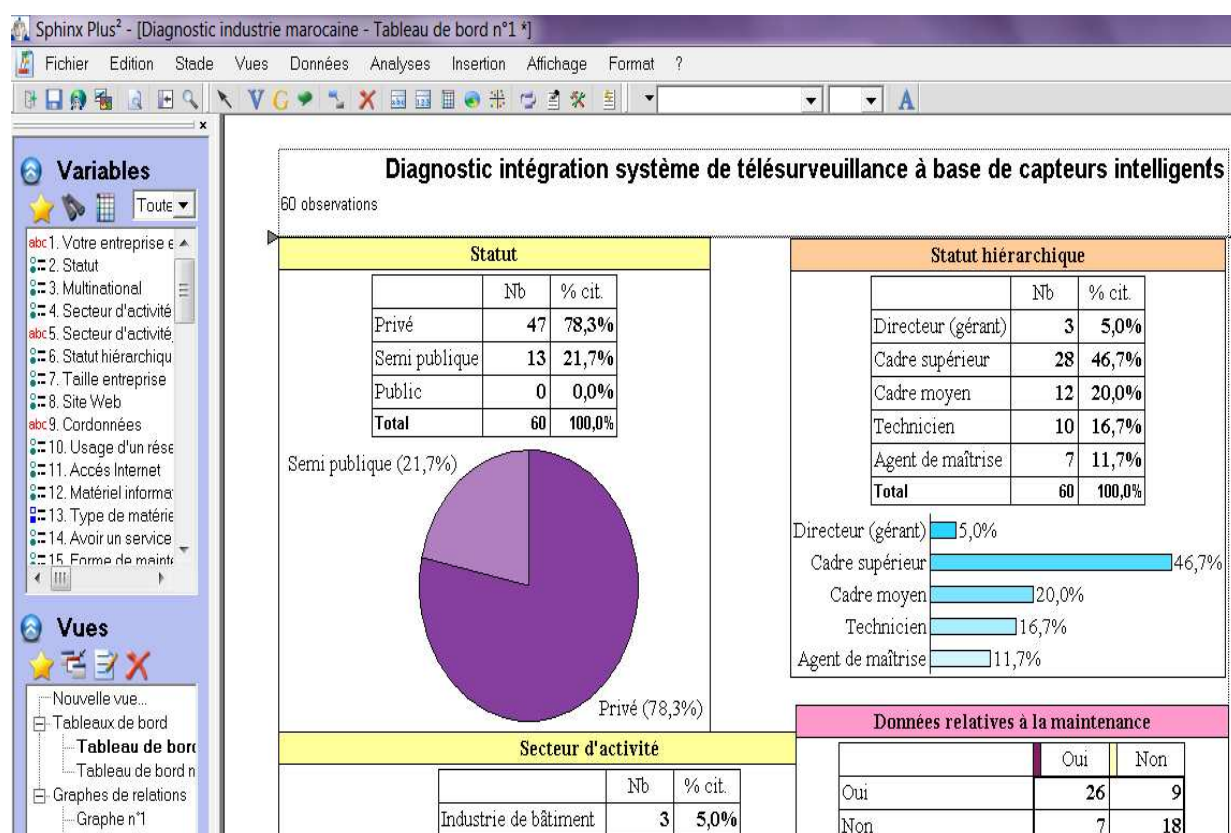


Figure 3.8 : Extrait du Tableau de bord.

3.8. Tri à plat

3.8.1. Secteur d'activité

Les secteurs d'activités des entreprises ciblées par l'enquête sont comme suit :

Secteur d'activité		
	Nb	% cit.
Industrie de bâtiment	3	5,0%
Câblage	5	8,3%
Aéronautique	4	6,7%
Industrie chimique	8	13,3%
Cimenterie	4	6,7%
Agroalimentaire	9	15,0%
Minier	5	8,3%
Fonderie	2	3,3%
Industrie Céramique	1	1,7%
Energie	6	10,0%
Industrie électronique	3	5,0%
Industrie Agricole	2	3,3%
Industrie Plastique	2	3,3%
Industrie Mécanique	4	6,7%
Textile	2	3,3%
Total	60	100,0%

Tableau 3.2 : Secteur d'activité [145].

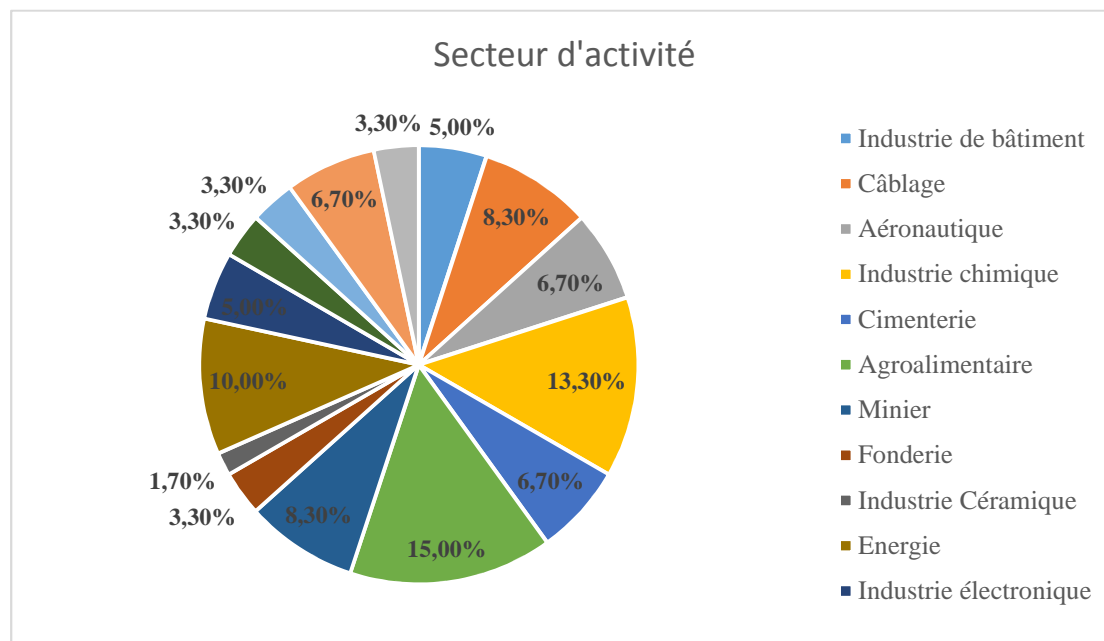


Figure 3.9 : Secteur d'activité des entreprises de l'enquête [145].

Une analyse rapide, permet de constater que les entreprises opérant dans les secteurs d'agroalimentaire, d'industrie chimique et d'énergie présentent plus de 38,30 % des entreprises interrogées.

3.8.2. Statut des entreprises

Nous constatons que plus de 78% des entreprises interrogées appartiennent au secteur privé, tandis que 22% des entreprises appartiennent au secteur semi publique. De plus, dans la catégorie des entreprises privées, plus de 53,3% font partie d'un groupe multinational. Ceci traduit le fait que notre enquête a ciblé davantage des entreprises structurées.

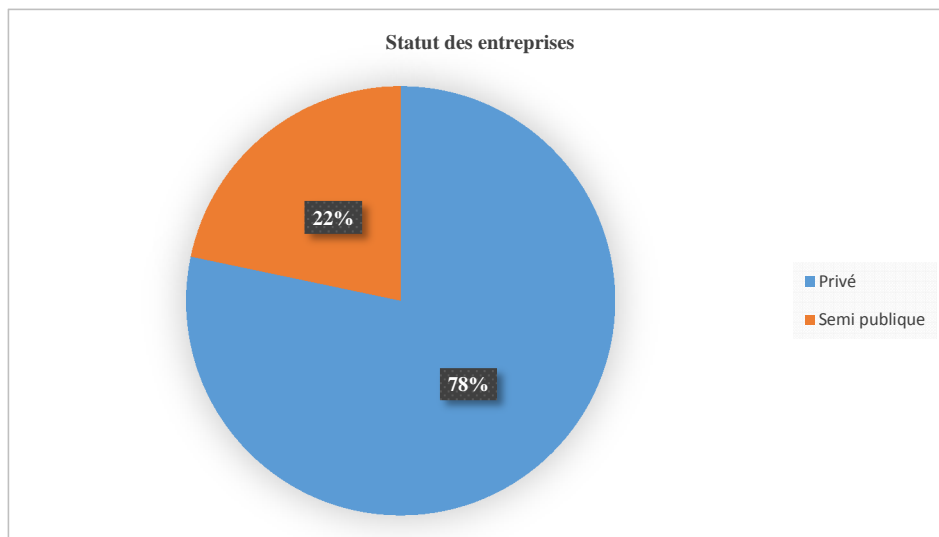


Figure 3.10 : Statut des entreprises [145].

3.8.3. Taille de l'entreprise et statut hiérarchique des répondants

L'ensemble de l'échantillon des entreprises interrogées présentent des tailles différentes en matière de nombre de personnel, avec une prédominance des entreprises ayant plus de 100 personnes (plus de 78%). Quant au statut hiérarchique des répondants de l'enquête, nous constatons que les cadres supérieurs, et les cadres moyens représentent plus de 66,7% des personnes interrogées.

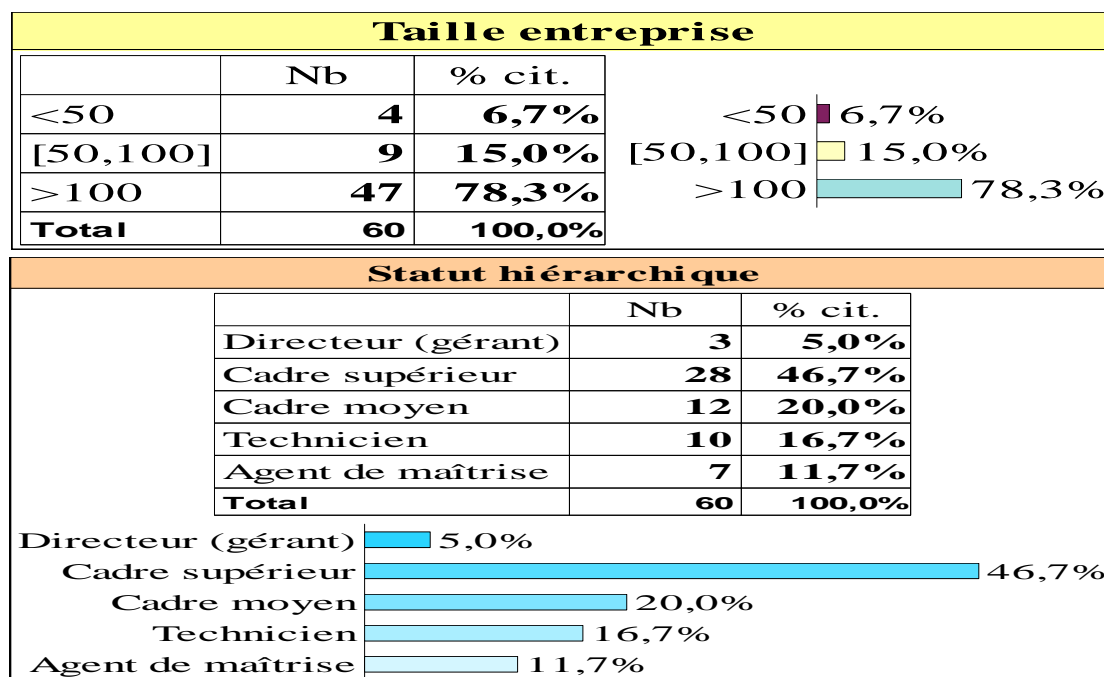


Figure 3.11 : Taille des entreprises et statut hiérarchique des répondants [145].

3.8.4. Accès à Internet et matériel informatique mobile

La totalité des entreprises ont un accès à Internet, et utilisent un réseau local. En ce qui concerne la mise à disposition pour le personnel du matériel informatique mobile, nous remarquons que plus de 86,7% des entreprises offrent ce type de matériel. D'où l'importance capitale allouée à l'information et à sa diffusion pour ces entreprises.

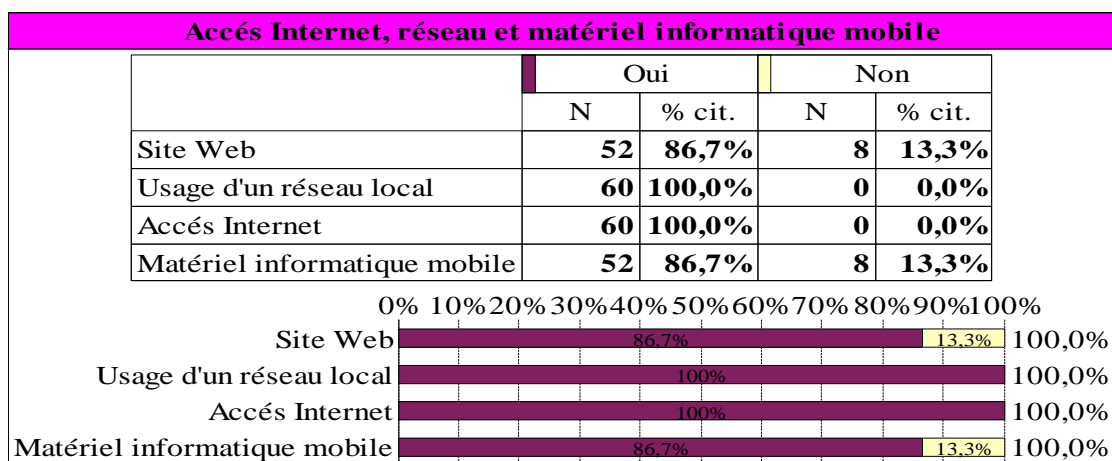


Figure 3.12 : Accès Internet, réseau et matériel informatique mobile [145].

Les smartphones viennent en premier lieu suivis par les ordinateurs portables avec des pourcentages très élevés, et en dernier lieu les PDA (Personal Digital Assistant).

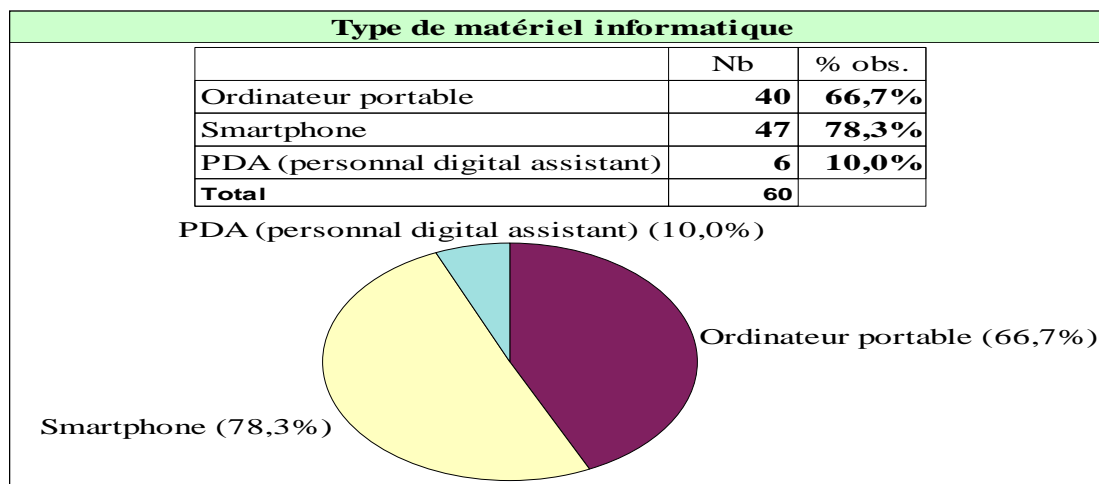


Figure 3.13 : Type de matériel informatique [145].

3.8.5. Données générales de la maintenance

La forme de la maintenance la plus prédominante dans le secteur industriel marocain est la maintenance corrective avec un taux de 40%. Cependant nous constatons que la maintenance conditionnelle présente une part considérable au niveau du tissu industriel marocain. Ce qui explique le fait que plus que la moitié des entreprises interrogées songent à migrer vers le prévisionnel.

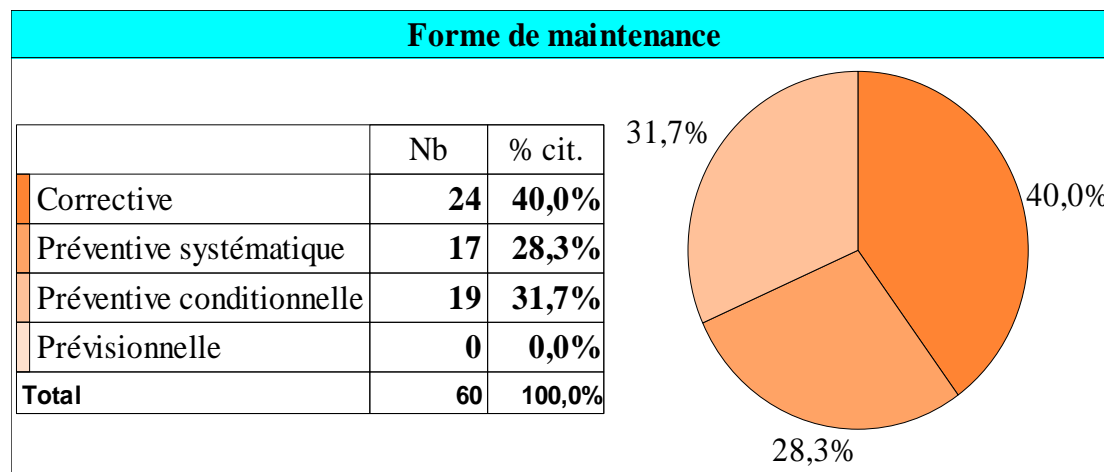


Figure 3.14 : Forme de la maintenance [145].

De plus, les répondants ont confirmé qu'ils disposent des moyens techniques et humains pour assurer cette migration. D'autre part la majorité des entreprises de l'enquête disposent d'un système de télésurveillance. Ces entreprises affirment aussi que le système de télésurveillance contribue à la surveillance du système de production.

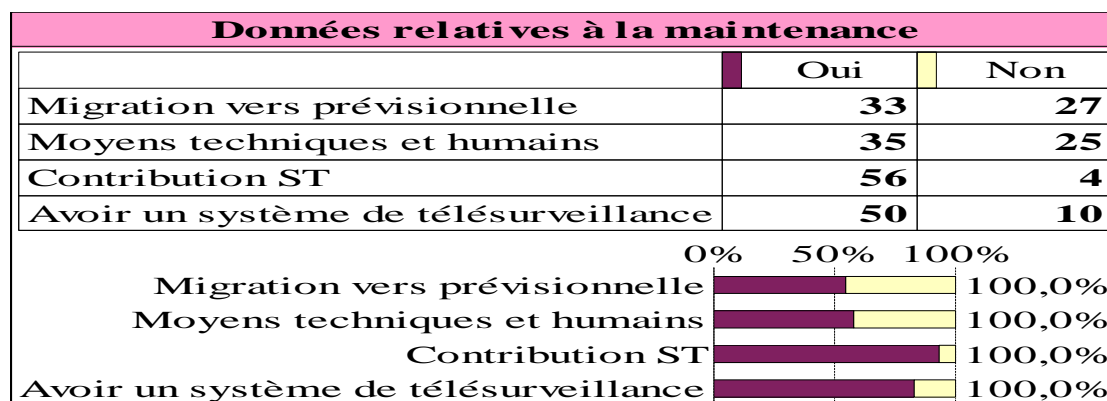


Figure 3.15 : Données relatives à la maintenance [145].

3.8.6. Propriétés du système de télésurveillance

Pour la technologie des capteurs utilisés dans le cadre de la télésurveillance, nous remarquons que la surveillance à base de capteurs classiques est la plus répandue, avec plus de 66%. L'usage des capteurs intelligents seuls, présente un faible pourcentage, contre un usage hybride qui présente 22%. Ceci montre que l'usage des capteurs est en phase de jeunesse et n'a pas encore atteint le stade de maturité. Ainsi les entreprises marocaines constituent un champ vierge pour cette technologie.

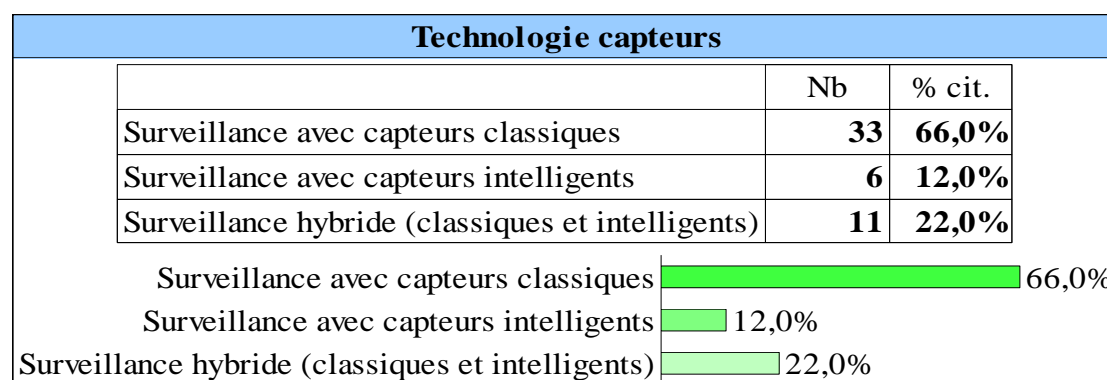


Figure 3.16 : Technologie des capteurs [145].

Plus de 91,7% estiment que le système de télésurveillance est un bénéfice pour l'entreprise. Ce constat permet de confirmer que les entreprises marocaines sont conscientes des bénéfices apportés par le système de télésurveillance, et ne le considèrent pas comme une source de dépenses. Ainsi, les entreprises pourraient investir dans de tels systèmes.

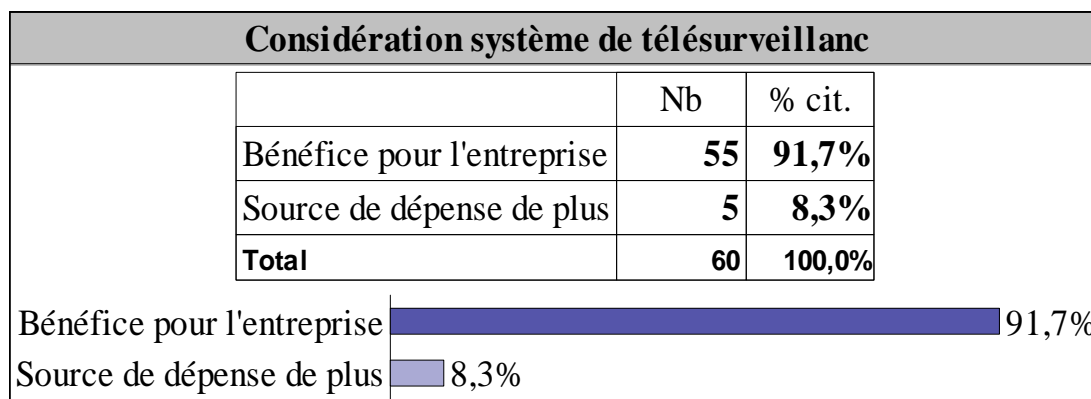


Figure 3.17 : Considération du système de télésurveillance [145].

D'autres facteurs positifs révélés par l'enquête, et qui pourraient favoriser l'intégration d'un système de télésurveillance se traduisent par ce qui suit :

- 90% des répondants pensent qu'il y a une nécessité d'avoir un système de télésurveillance ;
- 90% des répondants estiment que la mise en œuvre d'un système de télésurveillance a un impact sur le développement durable ;
- Plus de 96% des entreprises interrogées, confirment que le système de télésurveillance permet de faciliter la surveillance du système de production ;
- 65% des répondants estiment que le système de télésurveillance pourrait avoir un impact sur la sous-traitance en réduisant ses actions.

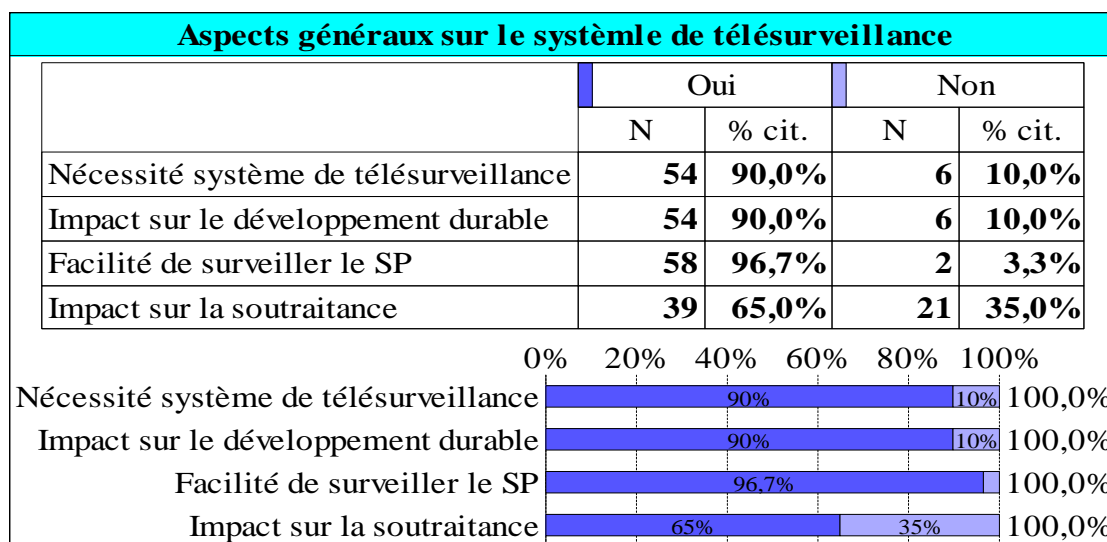


Figure 3.18 : Aspects généraux sur le système de télésurveillance [145].

3.8.7. Apports techniques du système de télésurveillance

D'après les résultats obtenus, et illustrés par le tableau suivant, les entreprises interrogées se sont mis d'accord sur le fait que le système de télésurveillance à base de capteurs intelligents contribue à des apports techniques. Ces apports se traduisent par des impacts directs et positifs sur la traçabilité des défaillances, la sécurité du personnel, la fiabilité, la durée de vie du système de production, ainsi que la prise de décision.

	Faible	Moyen	Fort	Très Fort	Somme	Pourcentage
Traçabilité et archivages des défaillances	2	8	30	20	47	78%
Impact sur la sécurité du personnel	5	12	23	20	44,5	74%
Impact sur la durée de vie	4	12	29	15	43,75	73%
Impact sur la qualité du produit	9	14	31	6	38,5	64%
Impact sur les performances	4	10	34	12	43,5	73%
Impact sur l'ergonomie	5	20	26	9	39,75	66%
Impact sur les gestes métiers	5	26	18	11	38,75	65%
Impact sur la fiabilité	3	8	34	15	45,25	75%
Impact sur la disponibilité	3	9	33	15	45	75%
Impact sur la prise de décision	5	8	31	16	44,5	74%

Tableau 3.3 : Apports techniques [145].

3.8.8. Connaissance capteurs intelligents

Les résultats montrent qu'une grande partie, précisément 60% des répondants de l'enquête, connaît ou affirme avoir entendu parler des capteurs intelligents, cependant ces connaissances restent difficiles à quantifier. D'autre part, la méconnaissance des protocoles de communication présente un point de faiblesse vis-à-vis l'intégration d'un système de télésurveillance. En fait, plus de 81% des répondants affirment qu'ils n'ont aucune connaissance de ceux-ci, ce qui conditionne les critères de choix des capteurs intelligents. La majorité des répondants se basent sur des critères classiques comme la marque, le prix et la fiabilité. Ainsi des limitations au niveau des critères du choix des capteurs intelligents, est une réalité de l'industrie marocaine.

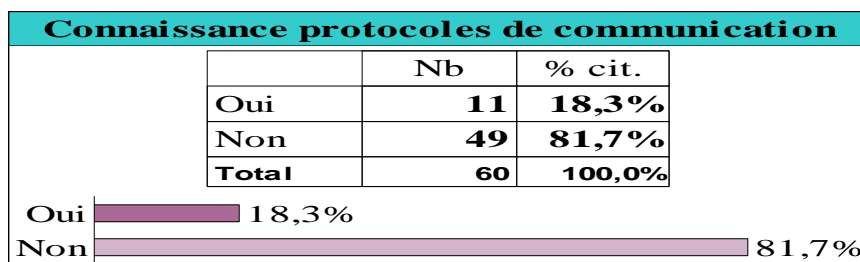


Figure 3.19 : Connaissance protocoles de communication.

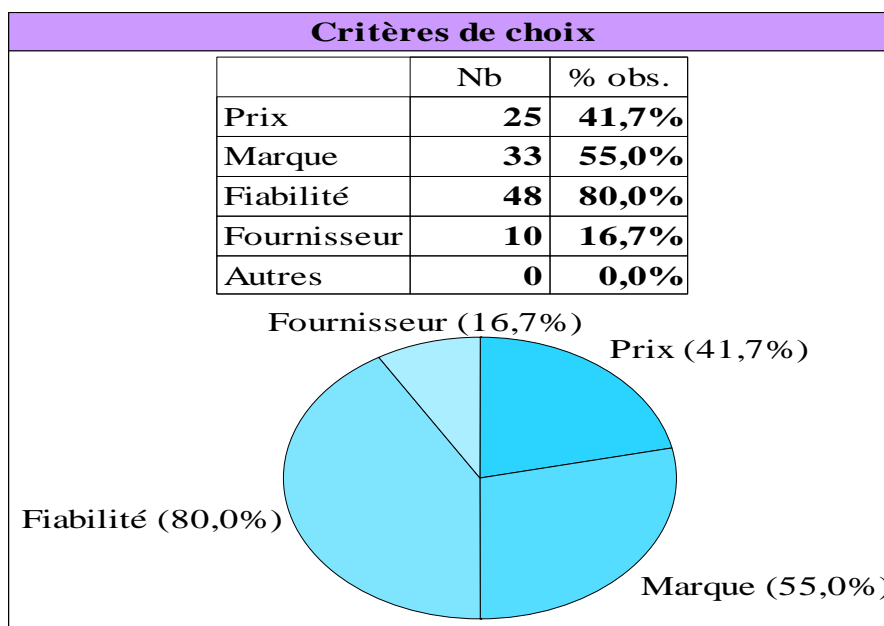


Figure 3.20 : Critères de choix.

3.9. Analyse des freins et obstacles

3.9.1. Obstacles de connexion mobile

Dans l'industrie, l'intégration d'un système notamment de télésurveillance à base de capteurs intelligents, se heurte souvent à des verrous et freins. La connexion mobile est indispensable pour le système de télésurveillance. En effet, elle permet de transférer et de visualiser les données sur des supports informatiques adaptés. De plus, elle permet de surmonter la contrainte d'être présent dans la salle de télésurveillance et offre ainsi une mobilité aux usagers du système. Cependant, le majeur obstacle de cette connexion d'après notre enquête réside dans les risques au niveau de la sécurité. Les données des capteurs, peuvent être sujettes à la divulgation ou au sabotage. Ce constat est confirmé par plus de 78% des répondants de l'enquête.

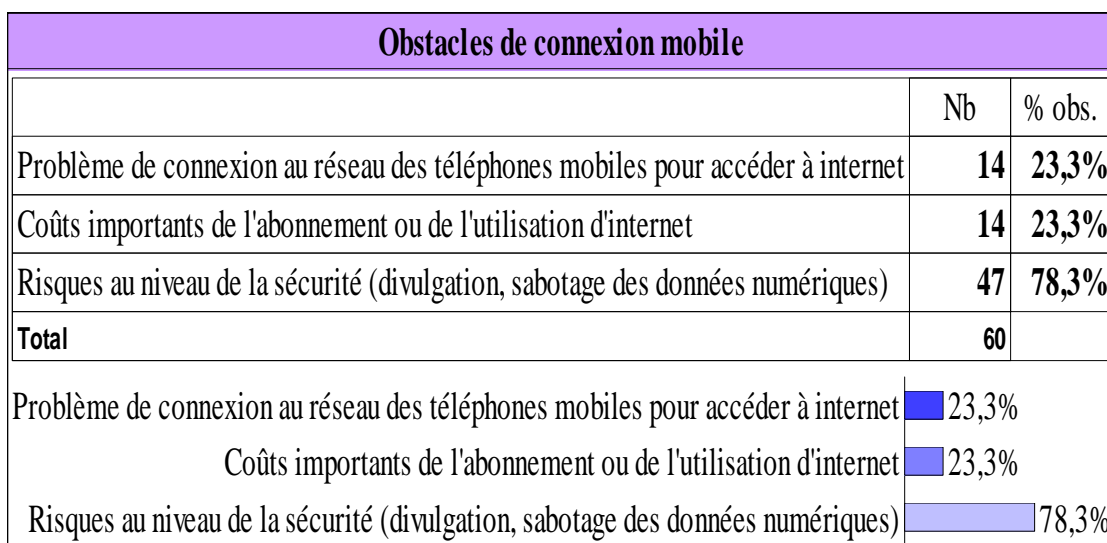


Figure 3.21 : Obstacles de connexion mobile.

L'enquête a permis aussi de révéler plusieurs aspects relatifs à l'intégration et au déploiement du système de télésurveillance au niveau des entreprises marocaines, ces aspects se traduisent par :

- Une grande partie estimée à 90% des répondants, n'a aucun ordre de grandeur relatif au retour d'investissement pour un système de télésurveillance ;
- 65% des répondants pensent que le système de télésurveillance n'a pas d'impact sur la consommation d'énergie ;
- 85% des entreprises interrogées sont prêtes pour investir dans la formation du personnel ;
- Au niveau social, 73% des répondants confirment que la mise des systèmes de télésurveillance contribuera à la réduction du personnel ;
- L'usage de tablette en dehors des horaires du travail n'est pas accepté par les deux tiers des répondants ;
- Le port des vêtements connectés est inadmissible, dans la mesure où plus de 93% des répondants le refusent, et le considèrent comme invasif pour leur vie privée ;
- 91% des répondants de l'enquête, estiment que cette nouvelle technologie risque de générer une résistance au changement pour les ressources humaines nécessaires pour le système de télésurveillance.

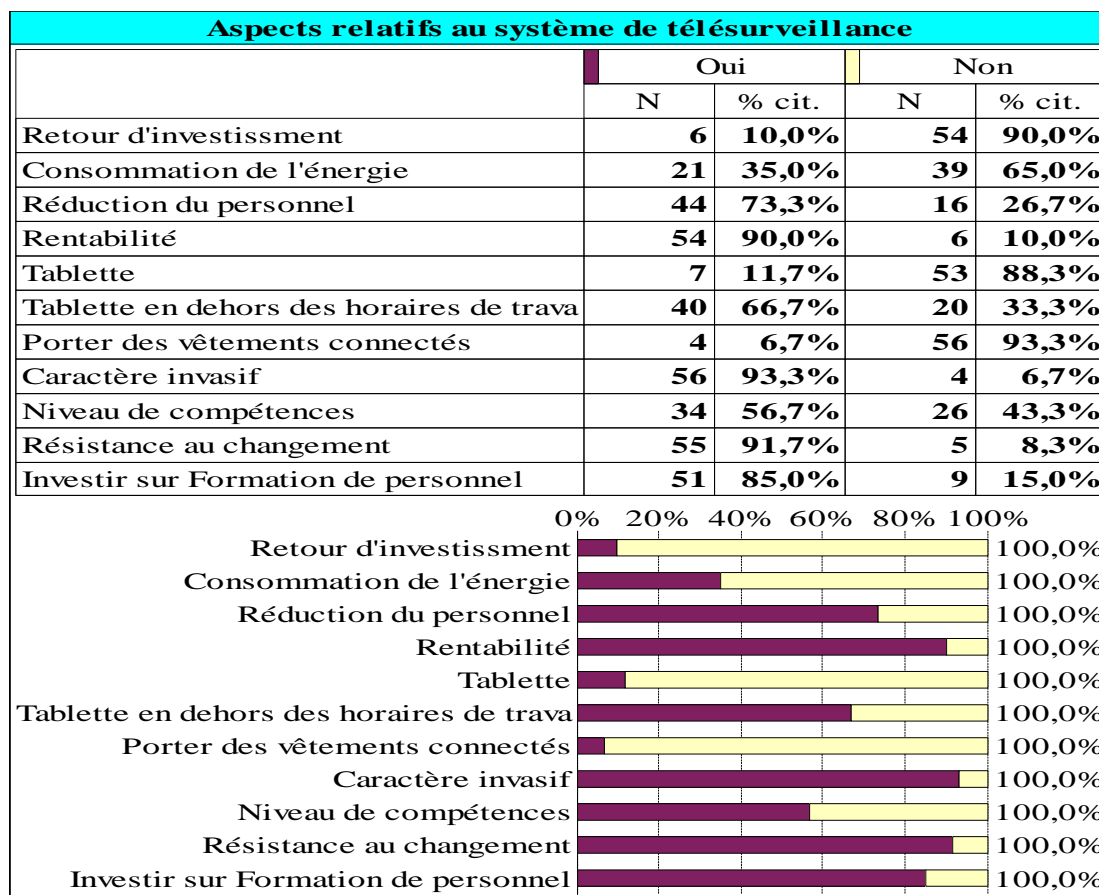


Figure 3.22 : Aspects relatifs au système de télésurveillance.

3.9.2. Obstacles et freins de l'intégration et du déploiement

L'analyse du tableau suivant, permet de confirmer que l'absence d'une démarche globale est le principal frein face à l'intégration d'un système de télésurveillance avec une valeur remarquable de 80%. En second lieu, les obstacles techniques liés à la maîtrise de la technologie, et l'entrepôt de données. La difficulté de trouver de nouveaux profils et compétences s'avère aussi un verrou. En effet, l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, exige une panoplie de compétences, ainsi les entreprises seront obligées de recruter ces nouveaux profils afin de garantir la mise en œuvre du système de télésurveillance. De même l'absence d'une décision stratégique pour intégrer un système de télésurveillance demeure une entrave capitale avec un taux qui s'élève à 43,3%. Un autre verrou, qui nécessite une réflexion particulière est la méfiance exprimée par les industriels vis-à-vis à l'incertitude et la fiabilité des données fournies par les capteurs intelligents déployés sur le système de production. En dernier lieu, il s'agit de l'obstacle de la difficulté de traiter des données

hétérogènes issues des capteurs, ainsi que le fait de les croiser avec les données symboliques (historiques des pannes, rapports d'intervention, contrats de garantie...), et qui vont constituer les entrées des algorithmes d'analyses et d'apprentissage [143].

Obstacles et freins	
	% obs.
Décision stratégique de l'entreprise	43,3%
Obstacle financier	33,3%
Obstacles techniques (maitrise de technologie de capteurs intelligents, entrepôt des données, protocoles de communication...)	48,3%
Manque de compétences ou de connaissances pour le personnel actuel	26,7%
L'effort de l'entreprise pour trouver de nouveaux profils et compétences	43,3%
L'absence d'un standard et d'un cadre juridique pour le système de télésurveillance	31,7%
L'absence d'une démarche globale pour l'intégration d'un système de télésurveillance	80,0%
L'absence de données concernant la sureté de fonctionnement des capteurs intelligents déployés pour la télésurveillance	31,7%
L'incertitude vis-à-vis des données fournies par les capteurs intelligents du système de télésurveillance	55,0%
La difficulté de traiter des données hétérogènes issues des capteurs intelligents et de les croiser avec des données symboliques	41,7%

Tableau 3.4 : Obstacles et freins [145].

3.10. Synthèse et discussions

Afin de synthétiser les résultats de l'enquête, le tableau suivant permet de dégager les points forts et les points faibles des entreprises marocaines face à l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

	Synthèse de l'enquête
Les points forts	<ul style="list-style-type: none"> - Le système de télésurveillance est considéré comme une source de bénéfice pour l'entreprise ; - La volonté d'investir dans la formation du personnel ; - La nécessité d'avoir un système de télésurveillance ; - La migration vers la maintenance prévisionnelle ; - Les apports techniques d'un système de télésurveillance.

Les points faibles	<ul style="list-style-type: none"> - Absence d'une décision au niveau stratégique ; - Absence d'une démarche globale pour la mise en œuvre ; - Présence de risque lié à la connexion mobile et crainte envers le risque de cybersécurité ; - Limitation des critères du choix pour les capteurs intelligents ; - Méconnaissance des protocoles de communication ; - Résistance au changement ; - Méconnaissance du retour d'investissement ; - Refus du port des vêtements connectés ; - Refus d'utilisation des tablettes et des smartphones en dehors des horaires de travail ; - Incidences sociales par la réduction du personnel ; - Nécessité de rechercher de nouveaux profils et compétences ; - Méfiance vis-à-vis des données fournies par les capteurs intelligents - Difficulté de traiter des données hétérogènes et de les croiser avec les données symboliques ;
---------------------------	--

Tableau 3.5 : Synthèse de l'enquête [145].

Notre discussion va porter sur les principaux obstacles et freins et qui sont exprimés par les industriels, et présentant un pourcentage remarquable. Ces derniers nécessiteront une réflexion de notre part. Ainsi les principaux obstacles se définissent selon le tableau suivant :

Obstacles	Pourcentage
Absence d'une décision stratégique	43,3%
Obstacles techniques	48,3%
Absence d'une démarche globale pour la mise en œuvre	80%
Effort de l'entreprise pour trouver de nouvelles compétences	43,3%
Difficulté de traiter des données hétérogènes issues des capteurs intelligents et de les croiser avec les données symboliques	55%
Risque au niveau de la sécurité de la connexion sans fil	78,3%

Tableau 3.6 : Principaux obstacles [145].

3.10.1. Absence d'une décision stratégique

L'absence d'une décision stratégique pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents est induite par l'absence d'une volonté réelle pour migrer vers la maintenance prévisionnelle. Afin d'initier cette démarche de migration, l'une des clés consiste donc à encourager les entreprises marocaines, en dehors des multinationales, à entamer cette démarche, à travers certaines mesures :

- Créer un consortium d'experts sous tutelle du ministère de l'industrie et du commerce. L'objectif est de capitaliser sur leur savoir-faire en termes de la gestion intelligente du système de production. Si cela apparaît simple et évident sur le papier, la réalité est toute autre. En effet, les entreprises doivent tenir compte de trois points qui conditionnent en effet le succès d'une telle démarche. Il s'agit de la mise en place d'un référentiel des données ; la gestion différenciée des typologies de données que ce soit celles relatives à la maintenance ou à la production ; et la définition de flux de données adéquats entre les deux systèmes de production et de maintenance,
- Evoquer la nécessité de la veille technologique pour les entreprises marocaines, surtout avec les nouvelles contraintes de mondialisation et de compétitivité, ainsi que les normes exigées par les partenaires économiques du Maroc ;
- Alléger la pression fiscale pour les entreprises, qui entameront la migration vers une politique de maintenance prévisionnelle ;
- Revoir la grille des frais de dédouanement des dispositifs techniques nécessaires pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents ;
- Organiser des prix sous tutelle du ministère de l'industrie et du commerce pour la reconnaissance de mérite pour les entreprises qui ont réussi leurs projets de mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

3.10.2. Obstacles techniques

Le déploiement d'un système de télésurveillance nécessite la mise en place de plusieurs sous-systèmes à savoir : le système de réseau de capteurs intelligents, le système de stockage de données et le système d'analyse prédictive. De plus, il faut réfléchir aux outils qui permettront d'interfacer l'ensemble de la chaîne du système de télésurveillance : plateformes et logiciels.

Il faut aussi mentionner la maintenance de ces systèmes, ainsi que la transmission des données dans un environnement critique, caractérisé par le bruit des installations industrielles, dans lequel ces capteurs intelligents, doivent être capables de communiquer entre eux et entre les puits, via une connexion fiable et permanente.

Afin de surmonter les carences techniques liées à la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, les entreprises marocaines seront guidées dans leur quête par les points suivants :

- Etablir des conventions avec des prestataires accrédités par le consortium d'experts, l'objectif est garantir que l'entreprise marocaine soit accompagnée tout au long de la mise en œuvre de son projet du système de télésurveillance à base de capteurs intelligents ;
- Les entreprises marocaines doivent se lancer dans une dynamique de coopération avec les entreprises étrangères, qui ont excellé dans la mise en œuvre des systèmes de télésurveillance. Cette tâche sera facilitée par les chambres régionales de commerce et de l'industrie.

3.10.3. Effort de l'entreprise pour la recherche de nouvelles compétences

Pour réussir un projet de mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, les industriels sont obligés de faire recours à une panoplie de compétences. Les industriels doivent ainsi recruter de nouvelles compétences ou les former. La mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents met donc en jeu de nombreuses technologies et compétences qui vont des bases électriques jusqu'à l'électronique en passant par la programmation, l'analyse, l'intégration, et l'optimisation énergétique.

En effet, il s'agit d'une agrégation de compétences concernant l'univers des systèmes embarqués, le développement web ou mobile, et la communication sans fil. Ces nouveaux métiers concernent notamment la création et l'implémentation des capteurs intelligents, ainsi que la gestion des données. Cela concerne également les métiers d'ergonomes pour la création des interfaces et le choix des supports numériques adaptés aux conditions de travail et d'usage. Sans oublier, évidemment, pour les profils d'ingénieurs, la prise en compte des dimensions marketing et digitale. Cependant les

industriels peinent à trouver de tels profils exigés par la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

- Dans la réalité, les profils proposés par les instituts de formation ainsi que les écoles supérieures sont de loin, les plus convenables aux besoins des industriels marocains.

Ainsi des mesures qui touchent la formation s'imposent, ces mesures se traduisent par ce qui suit :

- Dans le cadre de l'adéquation de la formation aux besoins des industriels, le ministère de l'enseignement supérieur doit accentuer davantage la coopération avec le secteur industriel pour définir des profils qui répondent aux besoins réels des industriels en matière de systèmes embarqués et de capteurs intelligents, et ce pour la totalité des secteurs industriels.
- Encourager les entreprises à former leurs personnels, notamment en matière de technologies nouvelles, telles que les capteurs intelligents et leurs systèmes d'exploitation.
- Proposer de nouvelles offres de formation qui concordent avec l'avènement des technologies nouvelles pour le secteur industriel marocain, telles que l'interfaçage homme machine et les métiers d'ergonome.
- Mettre à disposition des industriels une base de données des lauréats, avec des matrices de compétences qui répondent aux besoins en matière de compétences pour la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes de télésurveillance.

3.10.4. Incertitude et fiabilité des données de la mesure

L'utilisation massive de capteurs intelligents par un système de télésurveillance, doit faire face aux limites techniques de ces derniers, et qui se traduisent principalement par l'introduction des erreurs de mesure.

Plusieurs types d'erreurs peuvent être rencontrés, notamment :

- Un bruit aléatoire qui affecte toute une série de mesures ;
- Une variation inattendue ;
- Une succession de mesures identiques, dont la valeur est soit anormalement basse ou haute, soit anormalement constante.

Il est généralement impossible de prédire quand ces erreurs vont survenir [152], et leurs causes sont difficiles à déterminer de manière spécifique : il peut s'agir de défaillances matérielles, comme un court-circuit ou un capteur endommagé, d'un effet dû au déchargement de la batterie (introduction de bruit), d'une défaillance logicielle ou d'une erreur de calibration [153]. De plus, comme il s'agit de technologies relativement récentes, peu de retour d'expérience qualitatif (modes de défaillance observés) et quantitatif (données de fiabilité) sont disponibles.

D'autre part, un système de télésurveillance requiert des données de fiabilité des capteurs intelligents, par exemple pour optimiser les stratégies de validation des données, de reconfiguration, de communication en réseau, ou de répartition des capteurs. Il serait donc intéressant pour les industriels de :

- Développer des études qui concernent plus spécifiquement la sûreté de fonctionnement d'un capteur intelligent. L'objectif est de pouvoir définir son comportement en cas de défaillance ainsi que sa fiabilité (modes de défaillance et quantification) pour permettre l'intégration des particularités « intelligentes » dans des études plus globales ;
- Maîtriser la reconfiguration et le paramétrage des capteurs intelligents, en définissant des procédures adéquates. En effet, les capteurs intelligents sont des systèmes complexes, dont de nombreuses interactions peuvent exister entre les composants, mais également entre les fonctions assurées : les paramètres d'autodiagnostic obtenus sont utilisés pour l'auto-ajustage et la correction des erreurs de mesure. Ainsi, une reconfiguration peut donner lieu à une réduction des performances des autres fonctions.

3.10.5. Hétérogénéité et fusion des données

Les données issues des capteurs intelligents ainsi que les autres données symboliques, et leurs exploitations sont le pilier d'un projet de télésurveillance. Cela nécessite un traitement particulier du fait du volume et de l'hétérogénéité qui sont les principales caractéristiques de ces données.

Ainsi, la fusion des données est un défi technologique majeur pour les industriels. En effet, pour collecter, traiter, croiser, comparer, analyser et restituer les données, il faut pouvoir mettre en place une gigantesque plate-forme de centralisation et d'exploitation.

Pour surmonter cet obstacle, les industriels doivent trouver des solutions qui se traduisent par :

- La nécessité de numériser les données symboliques (rapport d'intervention, contrat de garantie, manuels d'utilisation...), Cette numérisation permet de valoriser ces données, de les rendre indexables, de les modifier, de les mettre à jour et de les fusionner avec d'autres données ;
- Développer des modèles de hachage de données pour faciliter le traitement des données multi sources et éviter la dépendance des outils de traitement et d'analyse prédictive à un format de données ;
- L'hétérogénéité que représentent les machines constituant le système de production, les données qui s'y rattachent, ainsi que les entités avec lesquelles ils interagissent, exige une architecture standard, qui doit être évolutive et flexible du système de télésurveillance ;
- Les protocoles de communication adoptés diffèrent d'une famille de capteurs à une autre d'où la nécessité de réfléchir à une standardisation de ces protocoles ; Cela nécessite d'établir des normes de communication entre les technologies et les fabricants. Ainsi, la standardisation permettra de supprimer la dépendance envers un matériel, un langage de programmation particulier ou un protocole de transmission de données bien défini.

3.10.6. Risque lié à la sécurité de la connexion sans fil

Si la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents introduit plusieurs cas d'utilisation prometteurs, elle induit aussi plusieurs problèmes quant à la sécurité des données, En effet, les capteurs intelligents étant des entités physiques possédant des caractéristiques particulières, les dégâts provoqués par une attaque informatique dans un tel contexte auront un impact considérable. À titre d'exemple, on citera Stuxnet un ver sophistiqué, découvert en 2010, qui s'attaque spécifiquement aux systèmes de contrôle et d'acquisition de données (Supervisory control and data acquisition, ou SCADA) [154]. Ces systèmes sont utilisés, entre autres, pour contrôler des infrastructures industrielles (privées, militaires et civiles) de premier plan telles que les centrales nucléaires, les oléoducs et gazoducs, et les aéroports.

Concrètement, un système de télésurveillance souffre de plusieurs vulnérabilités inhérentes aux technologies utilisées. En effet, les capteurs intelligents l'élément pilier dans un système de télésurveillance, et qui possèdent des capacités matérielles réduites, ne permettent pas, la mise en œuvre des techniques de sécurisation modernes, ces dernières nécessitant des ressources de calcul conséquentes [155]. De plus, la préservation de l'intégrité des données, c'est-à-dire la garantie qu'un intrus au système, ne puisse pas modifier de données sans que cela soit détecté par le système, est difficile à assurer en l'absence de chiffrement fort. En outre, l'utilisation des technologies de communication sans fil facilite d'une part la mise en place d'écoutes clandestines [156] et, d'autre part, les attaques par déni de service, en perturbant la connexion sans fil.

Les points suivants peuvent guider les industriels en matière de cybersécurité, afin d'éviter les sabotages :

- Les industriels doivent instaurer une étroite collaboration avec leurs fournisseurs et prestataires. Celle-ci permettra aux entreprises de négocier des contrats ou des conventions de service garantissant des contrôles de sécurité suffisamment efficaces ;
- Il est également important de tenir compte du facteur humain, et d'avoir connaissance des contrôles mis en place pour garantir la sécurité des identifiants, agissant ou exploitant le système de télésurveillance. La même approche peut être appliquée au niveau des prestataires, afin de vérifier qui accède à l'environnement du système de télésurveillance de son client ;
- L'implémentation de la sécurité en début de la mise en œuvre dans le cas où elle est chapotée par un prestataire, consolide l'image d'intégrité du prestataire et lui offre, en prime, un avantage concurrentiel unique : il peut alors commercialiser plus rapidement des capteurs intelligents et des systèmes sécurisés et améliorer l'expérience des utilisateurs.

3.10.7. Absence d'une démarche pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

Les industriels pointent du doigt l'absence d'une démarche générique pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour leurs systèmes de production. Une telle situation ne peut conduire qu'à un désistement de la part des industriels envers une migration vers la maintenance prévisionnelle, et par conséquent du système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. En effet, l'absence d'une démarche type contribue à une lourdeur et rend de plus en plus la tâche de mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, plus délicate. Ainsi pour remédier à ce constat exprimé par plus de 80% des industriels, il faut tenir compte des points suivants :

- Elaborer un guide ou un référentiel à la base de la démarche générique proposée dans le quatrième chapitre, pour aider les industriels dans leur projet de mise en œuvre d'un système de télésurveillance ;
- Capitaliser le retour d'expérience des entreprises qui ont réussi la mise en œuvre de leurs systèmes de télésurveillance à base de capteurs intelligents. L'objectif est d'apporter des améliorations à notre démarche proposée dans le chapitre suivant.

3.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décortiqué dans un premier temps, le système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. L'objectif est d'établir les différentes fonctions relatives à un tel système, ainsi que ses éléments environnants pour exprimer mieux les besoins, auxquels devrait répondre ce système et par conséquent, faciliter les deux tâches principales à savoir : la mise en œuvre d'un système de télésurveillance et sa conception. D'autre part, nous avons mis le point sur les différents verrous qui peuvent nuire à l'intégration et au déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Après avoir présenté notre démarche de l'enquête basée sur un questionnaire adressé à une multitude d'entreprises et en utilisant le logiciel statistique Sphinx comme outil d'analyse et de traitement de données en retour, nous avons présenté les résultats du diagnostic. L'objectif de ce dernier est d'avoir des points de repère pour la mise en œuvre de tel système.

De plus, ce diagnostic permettra d'évaluer d'une façon quantitative les freins et obstacles réels, qui peuvent constituer une entrave face à l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Cette enquête a permis d'établir une étude de l'existant en matière des systèmes de télésurveillance à base de capteurs intelligents, dans la mesure où elle a permis de dégager les points forts et les points faibles qui se présentent face à une intégration en milieu industriel, notamment pour les entreprises marocaines qui opèrent dans différents secteurs. Ainsi, il s'avère que l'absence d'une démarche globale se distingue comme étant le verrou majeur, d'où la nécessité de proposer une démarche qui répond à ce besoin crucial. Ainsi, ces résultats de l'enquête constituent une mine d'informations fiables et pertinentes, non seulement pour les entreprises du tissu industriel marocain, mais aussi pour les prestataires qui opèrent dans ce domaine. De plus, une synthèse des résultats a permis d'établir des points de réflexion autour des principaux freins. La finalité est de pouvoir réussir un projet d'intégration et de déploiement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

Dans ce sens, et afin de répondre à ce constat d'absence d'une démarche pour l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production, nous allons élaborer dans le chapitre suivant une démarche générique qui vise à satisfaire ce besoin exprimé par la majorité des industriels.

La vocation majeure de cette démarche est la mise en œuvre de procédures et la définition des étapes visant la mise en œuvre d'un projet de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour le système de production.

Chapitre 4

Proposition d'une démarche pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance

4.1. Introduction

Le marché des réseaux de capteurs est en cours de développement, les industriels sont toujours à la recherche de prestataires, pour l'intégration de ces réseaux intelligents pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

L'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents nécessite une démarche rigoureuse. Cette intégration consiste, entre autre, en une destruction de l'ensemble des barrières et freins techniques, qui entravent la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Ainsi, dans ce chapitre, nous allons essayer de développer une démarche pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Cette démarche est basée sur des étapes et des procédures qui prennent en considération tous les aspects nécessaires pour sa réussite et son développement.

4.2. Définition des étapes et des procédures

Une procédure est un document qui décrit la manière d'accomplir une activité ou un processus. En effet, la procédure doit à la fois satisfaire les exigences de l'entreprise, et créer les conditions pour une application efficace. Ainsi, une procédure doit répondre à un besoin. Il convient donc d'analyser les besoins, et d'adapter la forme et le fond du document aux destinataires et utilisateurs de la procédure.

Pratiquement, une procédure doit définir qui doit faire quoi, et faire référence à comment le faire à travers des instructions spécifiques.

4.2.1. Engagement de la direction

La démarche globale nécessite d'abord un soutien actif et total de la direction de l'entreprise industrielle, au plus haut niveau managérial. L'engagement de la direction est traduit par une déclaration, portée à la connaissance de l'ensemble du personnel et est affichée, en différents points de l'entreprise.

Cette déclaration met l'accent sur la stratégie de l'entreprise à migrer vers une politique de maintenance prédictive, concrétisée par la mise en œuvre d'un système de télésurveillance du système de production.

Ainsi, la direction s'engage à apporter tout son appui, ainsi que les ressources humaines et matérielles nécessaires à la mise en œuvre du système de télésurveillance.

D'autre part, la collecte et l'interprétation des données d'un système de télésurveillance, nécessitent l'intervention croisée de plusieurs profils de compétences (compétences mathématiques et statistiques, compétences informatiques, compétences en métrologie, en architecture et en communication...).

Les équipes techniques doivent collaborer avec les équipes métiers. Ainsi, la collaboration dans ce cas est impérative.

4.2.2. Désignation d'un chef de projet

Une fois l'engagement de la direction est acquis, l'étape suivante est la nomination d'un chef de projet de télésurveillance. Cette personne est reconnue au sein de l'entreprise, et doit comprendre les responsabilités et les rôles liés à la mise en œuvre d'un système de télésurveillance. La procédure suivante décrit la sélection du chef de projet de télésurveillance.

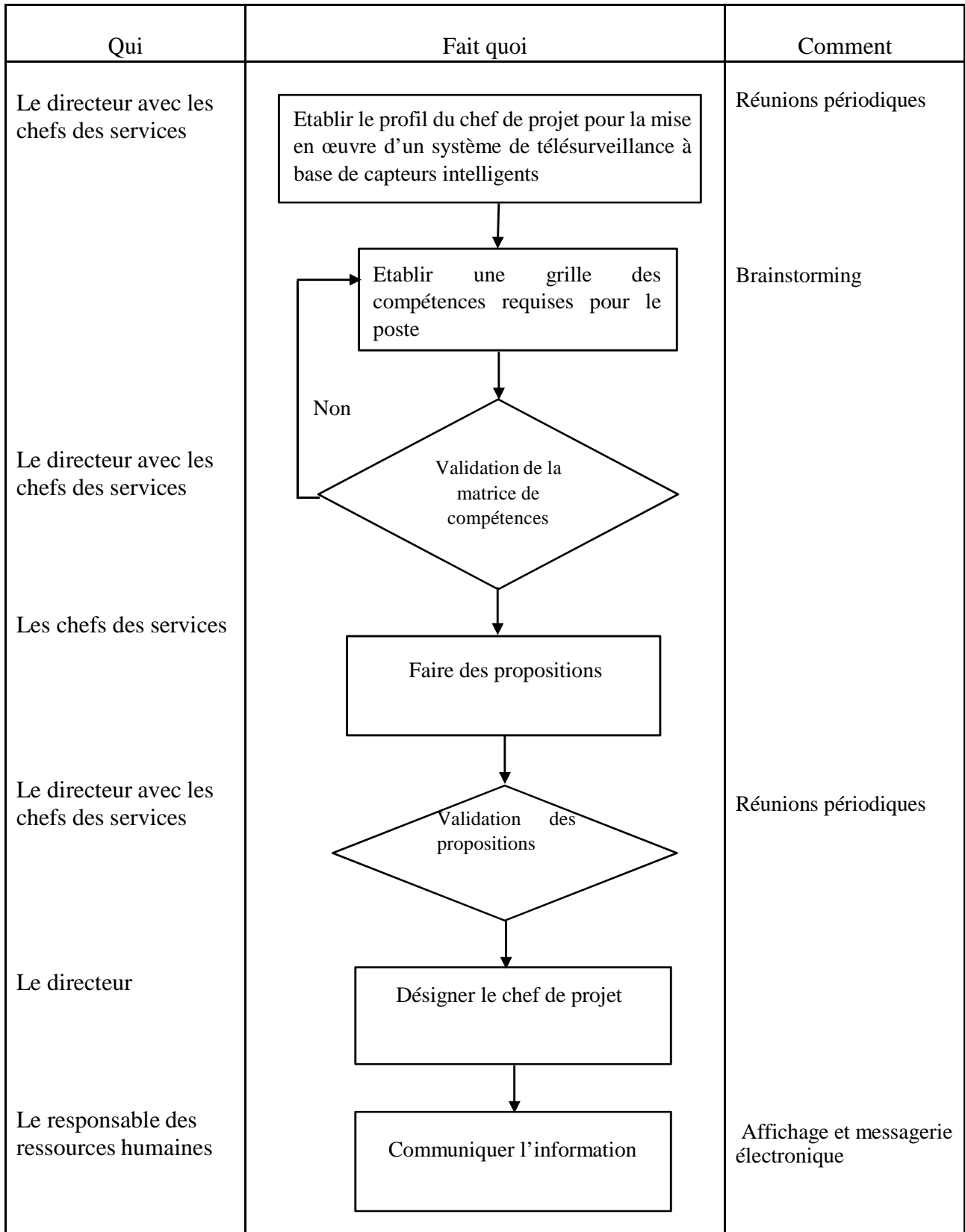


Figure 4.1 : Procédure de désignation chef de projet.

4.2.3. Etat des lieux

Avant de commencer un travail de déploiement et d'intégration, il est toujours recommandé de définir l'état de l'existant. Dans cette étape, l'objectif est de collecter les données sur les machines constituant le système de production ainsi que le capital humain pour avoir une cartographie des compétences dont on dispose.

Cette étape donne naissance à deux procédures : il s'agit en premier lieu de la procédure pour établir la cartographie des compétences, et en second lieu de la procédure pour déterminer les constituants critiques du système de production.

4.2.3.1. Cartographie des compétences

La mise en œuvre d'un système de télésurveillance, fait appel à plusieurs profils et disciplines métiers. Parfois, l'entreprise industrielle ne dispose pas de tous ces profils de compétences. Ainsi, une cartographie des compétences s'avère nécessaire, afin de mettre l'accent sur les profils dont on dispose, et les autres qui manquent pour chaque étape de la mise en œuvre du système de télésurveillance.

Elle concerne le profil de compétence nécessaire pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance. Cette variable est capitale dans un projet de mise en œuvre d'un système de télésurveillance. En effet, tant que le degré de complexité des phases de la démarche augmente, le niveau de compétence exigé augmente aussi.

D'autre part, cette compétence touchera deux aspects principaux, dans un premier temps, le niveau de maîtrise de l'installation des ressources matérielles nécessaires pour le système de télésurveillance. Dans un deuxième temps le niveau de maîtrise de l'exploitation de ces ressources. Ce niveau de maîtrise diffère d'une ressource humaine à une autre.

Ainsi, il est commode au chef de projet, et pour avoir une vision globale concernant les compétences disponibles, d'établir une double matrice de compétences. Elle fera la correspondance d'une part, entre la personne et son niveau de maîtrise pour la phase de l'installation et la réalisation. Et d'autre part, entre la personne et son niveau de maîtrise pour la phase d'exploitation. Ainsi, l'évaluation du niveau globale de compétence, sera une combinaison des deux niveaux.

Pour compléter les matrices, le chef de projet doit établir une grille de notation pour chaque niveau, et qui permettra d'en évaluer la valeur.

4.2.3.2. Choix des équipements critiques

L'une des règles de la télésurveillance est de ne pas traiter tous les équipements sur le même pied d'égalité, c'est pourquoi, il est commode de focaliser la fonction de télésurveillance sur les machines critiques.

D'autre part, pour des raisons économiques, il sera judicieux d'installer le système de télésurveillance dans un premier temps pour les machines critiques du système de production. Ceci permettra d'éviter que l'investissement initial représente une entrave.

Le choix des équipements critiques est guidé par les méthodes classiques comme l'AMDEC ou Pareto. L'utilisation d'une matrice multicritères est aussi recommandée. En effet cette matrice tient compte de l'impact de la défaillance sur la disponibilité, la cadence de la production, la sécurité des installations et du personnel, ainsi que son impact sur l'environnement.

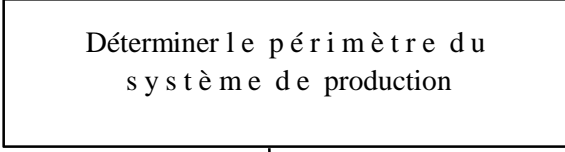
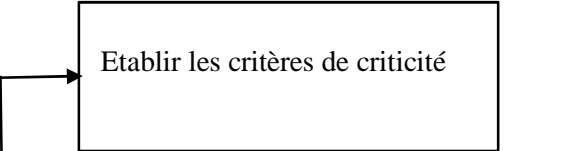
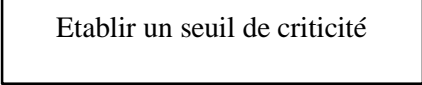
Qui	Fait quoi	Comment
Responsable service maintenance	 <pre> graph TD A[Déterminer le périmètre du système de production] --> B[Etablir une cartographie du système de production] B --> C{Validation de la cartographie} C -- Non --> B C --> D[Etablir les critères de criticité] D --> E{Validation des critères} E --> D E --> F[Etablir un seuil de criticité] F --> G[Valider le seuil] G --> H[Etablir la liste des équipements critiques et la communiquer au chef de projet] </pre>	L'inventaire avec l'équipe de maintenance
Responsable service maintenance avec le groupe AMDEC	 <pre> graph TD A[Etablir les critères de criticité] --> B{Validation des critères} B --> A </pre>	Matrice multicritères ou AMDEC
Responsable service maintenance	 <pre> graph TD A[Etablir un seuil de criticité] --> B[Valider le seuil] B --> C[Etablir la liste des équipements critiques et la communiquer au chef de projet] </pre>	Les réunions du groupe AMDEC

Figure 4.3 : Procédure du choix des équipements critiques.

4.2.4. Faisabilité

La réalisation de l'étude de faisabilité nécessite de déterminer avec précision, les moyens technologiques et les aspects techniques liés au système de télésurveillance basé sur le réseau de capteurs intelligents, mais aussi humains et financiers à mettre en œuvre, en interne ou via des compétences externes pour des technologies non maîtrisées en interne.

En ce qui concerne les moyens techniques, ils incluent les installations et dispositifs requis par le projet. Ceux-ci sont l'instrumentation, les équipements de télécommunication, les serveurs de stockage de données et les logiciels d'analyse prédictive.

Quant aux moyens humains, ils incluent tous les intervenants impliqués dans le cadre du projet de télésurveillance, ainsi que les informations qui s'y rattachent.

La deuxième phase de cette étape portera sur une étude budgétaire pour l'entreprise pour déterminer la capacité de l'entreprise en premier lieu avant d'appliquer la démarche.

L'étude budgétaire correspond aux dépenses de la mise en place du système de télésurveillance en intégrant les aspects organisationnels, techniques, et humains sans oublier les coûts engendrés par des incidents ou pannes sur le système de télé surveillance.

Enfin, la réalisation d'une matrice multicritères composée de quatre axes à savoir : les contraintes techniques, les compétences, les coûts, et les technologies, permettra de prendre une décision finale. Soit vous poursuivez le projet, soit vous devrez apporter des modifications, ou vous abandonnez.

Plusieurs cas de figure se présentent en fonction du degré de maturité de la technologie et de sa maîtrise au sein de votre entreprise.

Il faut ensuite s'assurer sous quelles conditions la technologie envisagée peut être soit intégrée dans votre entreprise, soit sous-traitée. A titre indicatif, la sous-traitance peut se concrétiser en mobilisant des compétences externes dans le cadre d'une collaboration avec une entreprise prestataire ou un centre de recherche ou laboratoire universitaire.

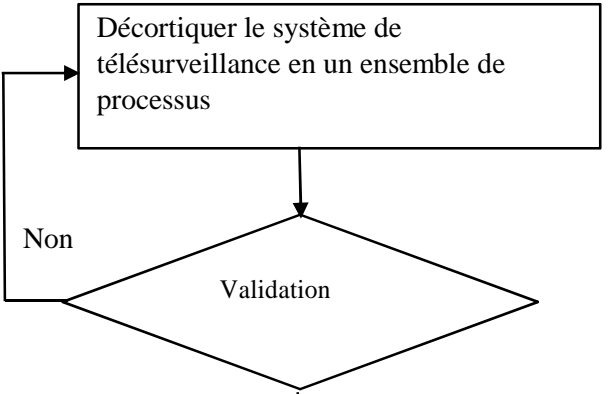
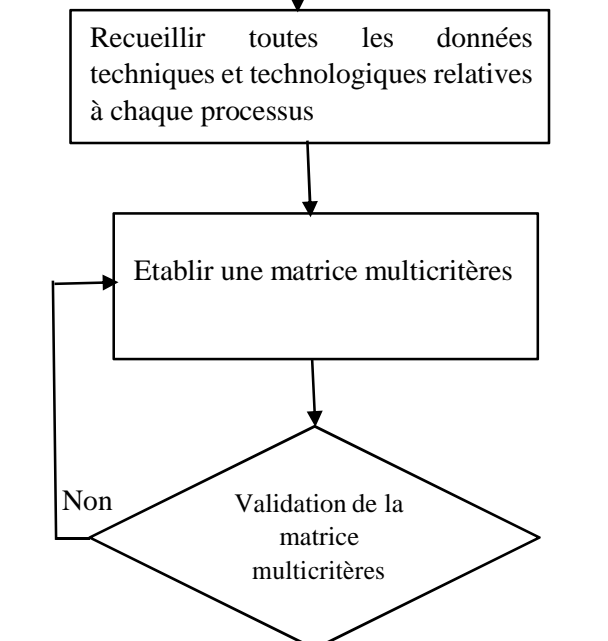
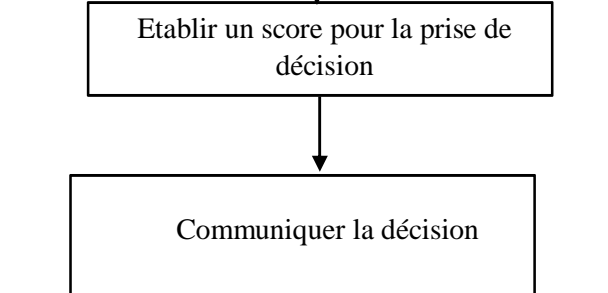
Qui	Fait quoi	Comment
<p>Chef de projet avec les chefs de service</p>	 <pre> graph TD A[Décortiquer le système de télésurveillance en un ensemble de processus] --> B{Validation} B -- Non --> A </pre>	<p>Analyse fonctionnelle du système de télésurveillance</p>
<p>Chef de projet avec les chefs de service</p>	 <pre> graph TD C[Recueillir toutes les données techniques et technologiques relatives à chaque processus] --> D[Etablir une matrice multicritères] D --> E{Validation de la matrice multicritères} E -- Non --> D </pre>	<p>Brainstorming</p>
<p>Le directeur avec le chef de projet</p>	 <pre> graph TD F[Etablir un score pour la prise de décision] --> G[Communiquer la décision] </pre>	<p>Messagerie électronique</p>

Figure 4.4 : Procédure de faisabilité.

4.2.5. Cahier des charges

Elaborer un cahier des charges fixant le cadre d'utilisation de réseau de capteurs intelligents, et les principaux objectifs recherchés, ce cahier des charges devrait mettre le point sur les axes suivants :

4.2.5.1. Choix des paramètres significatifs du système

Les performances du système de télésurveillance dépendront de la pertinence des paramètres significatifs, mesurés par les capteurs déployés sur le système de production.

Ces paramètres sont dits significatifs dans la mesure où ils traduisent l'information utile pour caractériser le fonctionnement du système de production. En effet, le choix de paramètres pertinents permet de réduire le nombre de capteurs, et d'éviter des traitements futiles. En fait, un nombre souvent élevé de paramètres peut être aussi pénalisant en termes de temps de calcul et influence sur le coût de l'installation. Des méthodes de réduction des paramètres doivent donc être utilisées afin de ne conserver que les paramètres les plus représentatifs.

A titre indicatif, ces paramètres peuvent être une température, une vibration, un bruit sonore, une pression, etc.

La définition de l'ensemble des paramètres dont on souhaite simuler l'évolution doit satisfaire les contraintes suivantes :

- Les valeurs des paramètres doivent pouvoir être obtenues simplement à partir des données enregistrées par un ou plusieurs capteurs installés dans les machines ;
- L'ensemble des paramètres disponibles est limité par le choix des capteurs, la facilité d'utilisation, et le faible coût ;
- Les paramètres considérés doivent être suffisamment représentatifs des activités réalisées par le système de production à une détérioration de son état de dégradation pour être pleinement en adéquation avec les objectifs de décision.

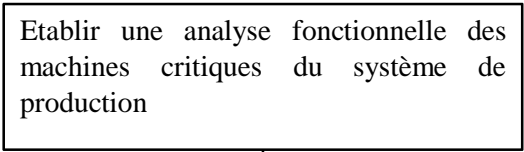
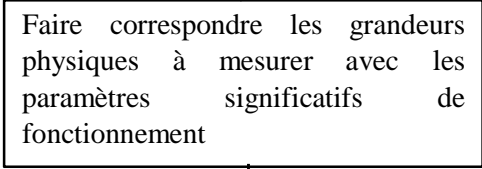
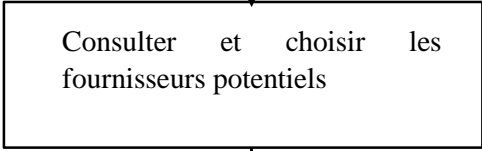
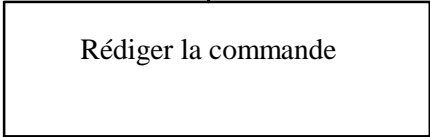
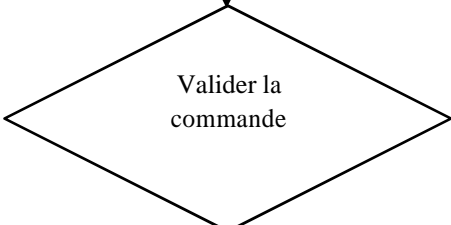
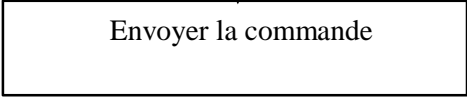
Qui	Fait quoi	Comment
Le chef de projet avec le responsable du service maintenance et le service informatique		Liste des machines critiques et analyse fonctionnelle
		Liste des paramètres significatifs
Le responsable des achats		Catalogues fournisseurs et sites des fournisseurs
Le responsable des achats		Système de gestion Bon de commande
Le chef de projet		
Le responsable des achats		Système de gestion Bon de commande

Figure 4.6 : Procédure de typologie de capteurs.

4.2.5.3. Positionnement des capteurs

L'installation des capteurs qui collectent les données du système de production doit être établie suite à une étude préalable. En effet, certains capteurs donnent des valeurs erronées suite à un mauvais emplacement ou non-respect des consignes du fabricant. A titre indicatif, la transmission de données peut être altérée à cause de la présence d'obstacles au voisinage du capteur.

De plus, si un capteur est difficile d'accès à cause de son emplacement, il le sera chaque fois qu'il faudra remplacer les batteries. D'autre part, la présence d'une source de chaleur ou les poussières dans l'air ambiant peuvent fausser les mesures [143].

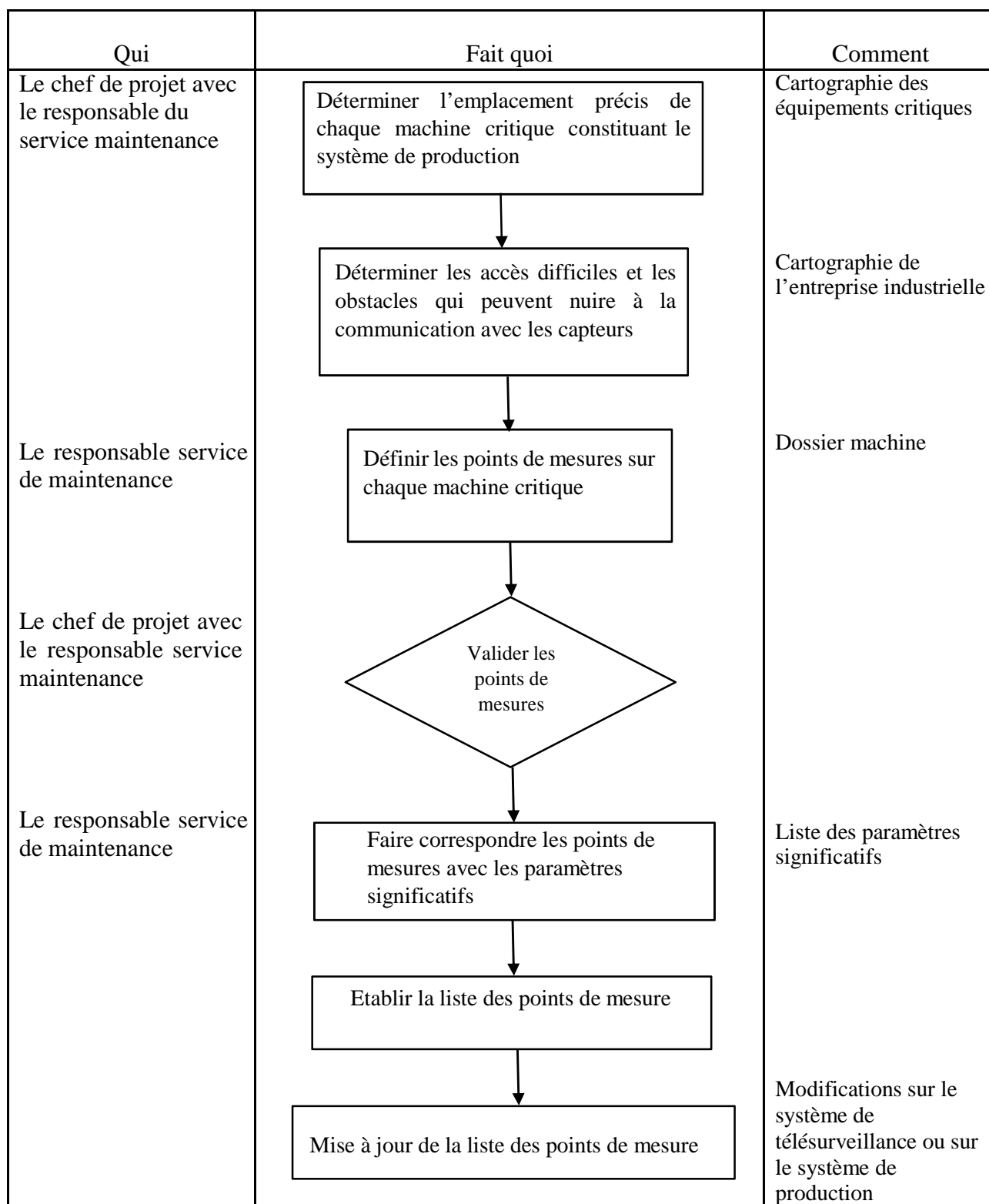


Figure 4.7 : Procédure de positionnement de capteurs.

4.2.5.4. Architecture du réseau de capteurs et scénarios d'applications

Tous les capteurs respectent globalement la même architecture basée sur un noyau central autour duquel s'articulent les différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et d'alimentation [157].

En ce qui concerne les scénarios d'applications, ils sont comme suit :

- Application périodique : dans laquelle, les capteurs prennent des mesures dans des intervalles de temps réguliers et ils envoient les mesures périodiquement ;
- Application à la demande : dans laquelle, les capteurs attendent de recevoir un ordre pour déclencher les mesures et les communiquer ;
- Application événementielle : dans ce cas de figure, l'envoi des données est déclenché, lorsqu'un événement particulier est détecté, à titre indicatif, lors d'un dépassement d'un seuil prédéfini ;
- Application hybride : elle englobe toute alliance des scénarios précédents.

Qui	Fait quoi	Comment
Le chef de projet avec les responsables du service maintenance et informatique	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Déterminer les modes de défaillances et leurs caractéristiques</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Définir le scénario de mesures</div>	Analyse AMDEC et historiques Liste des points de mesures, si nécessaire un prestataire
Le responsable service de maintenance	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto; transform: rotate(45deg); transform-origin: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; width: 60%; margin: 0 auto;">Valider le scénario de mesures</div> </div>	
Le responsable service de maintenance et le responsable service informatique	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Paramétrer les capteurs selon le scénario de mesures</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Déterminer la dimension et la densité du réseau</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Evaluer les architectures possibles</div>	Si nécessaire un prestataire
Le chef de projet et les responsables service maintenance et informatique	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto; transform: rotate(45deg); transform-origin: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; width: 60%; margin: 0 auto;">Valider l'architecture convenable</div> </div>	Si nécessaire un prestataire
Le responsable du service maintenance	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Mise à jour de la liste des points de mesure</div>	

Figure 4.8 : Procédure architecture du réseau et scénarios d'application.

4.2.5.5. Choix du protocole de communication

Il est impératif que les réseaux sans fil déployés, n'interagissent pas sur les équipements électroniques existants, de plus ils ne doivent pas interférer entre eux et utilisent des mécanismes permettant leur coexistence dans la même bande passante. D'où la nécessité de faire le bon choix du protocole de communication tout en tenant compte de la consommation de l'énergie.

En effet, un protocole est souvent décrit comme un ensemble de couches assurant chacune à son niveau, des actions de codage, décodage, émission, réception, contrôle d'intégrité des données véhiculées. Chaque protocole est implémenté sur des ressources matérielles, qui sont des composants électroniques [158].

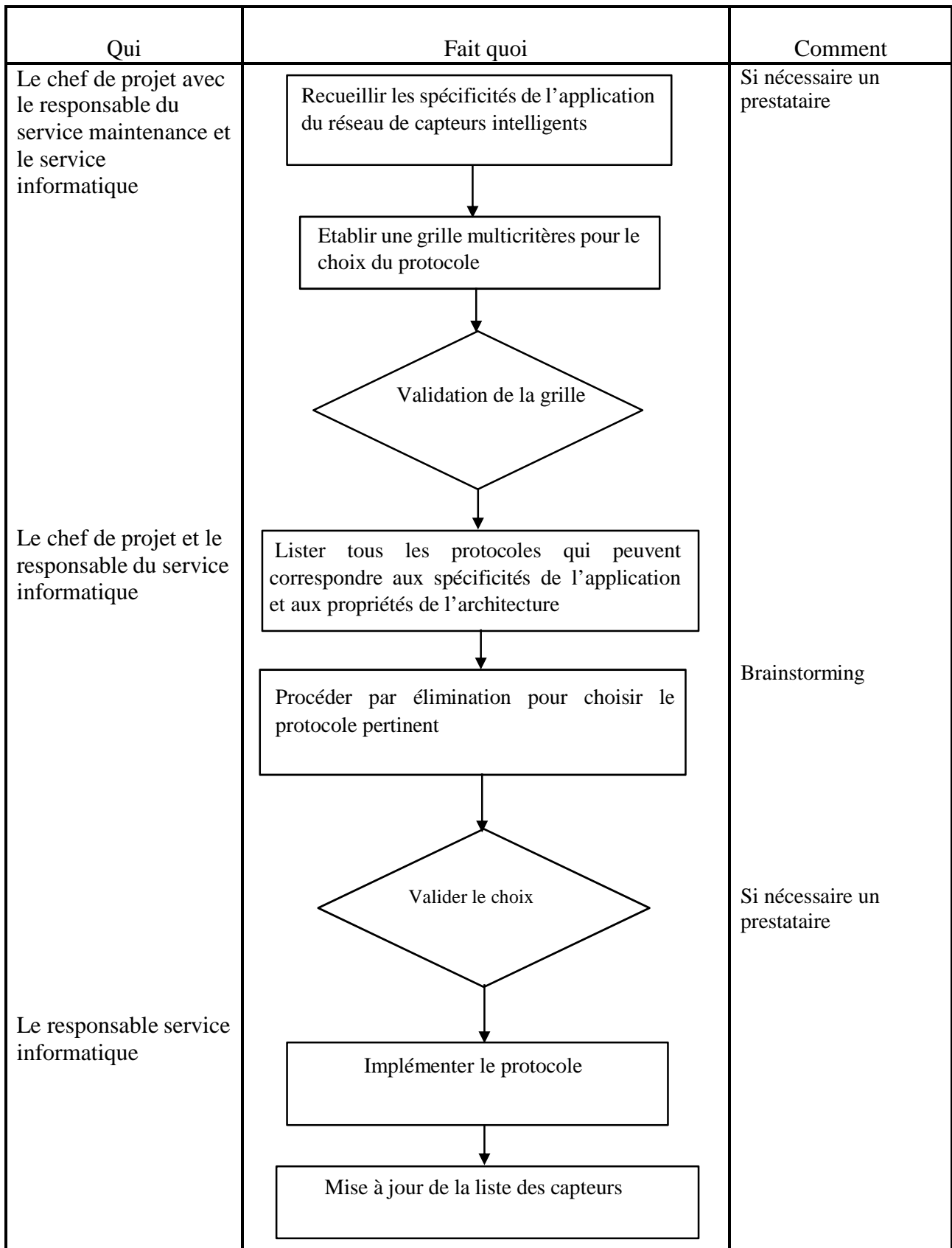


Figure 4.9 : Procédure du choix de protocole de communication.

4.2.5.6. Gestion du niveau d'urgence

Dans l'industrie, certaines défaillances nécessitent une intervention immédiate à cause de leurs conséquences néfastes, d'autres ont un caractère de latence. Il est essentiel de séparer les procédures d'exploitation des procédures d'alerte et d'intervention. Pour l'exploitation du système de télésurveillance, il conviendra de séparer la télésurveillance courante des situations de crise, pour lesquelles les dispositifs, les exigences de mesures et les contraintes sont différentes. Quant aux alertes et aux interventions, il faut préciser les différents acteurs impliqués pour chaque niveau d'alerte, et leurs éventuels relations.

En effet un capteur intelligent peut envoyer des informations qui nécessitent le déclenchement d'une alerte comme c'est le cas en cas de détection de présence de gaz toxiques. De même, d'autres informations ne sont peut-être pas nécessaires juste à temps, telles que les données régulièrement recueillies pour continuer à affiner et améliorer le modèle prédictif lui-même. A titre indicatif, Ces données peuvent potentiellement être collectées et traitées plusieurs fois par jour, afin de rechercher des signes coureurs de défaillances. D'autre part, l'établissement du niveau d'urgence, permettra d'alimenter la base d'apprentissage et de diagnostic.

La procédure suivante décrit la gestion du niveau d'urgence vis-à-vis des défaillances.

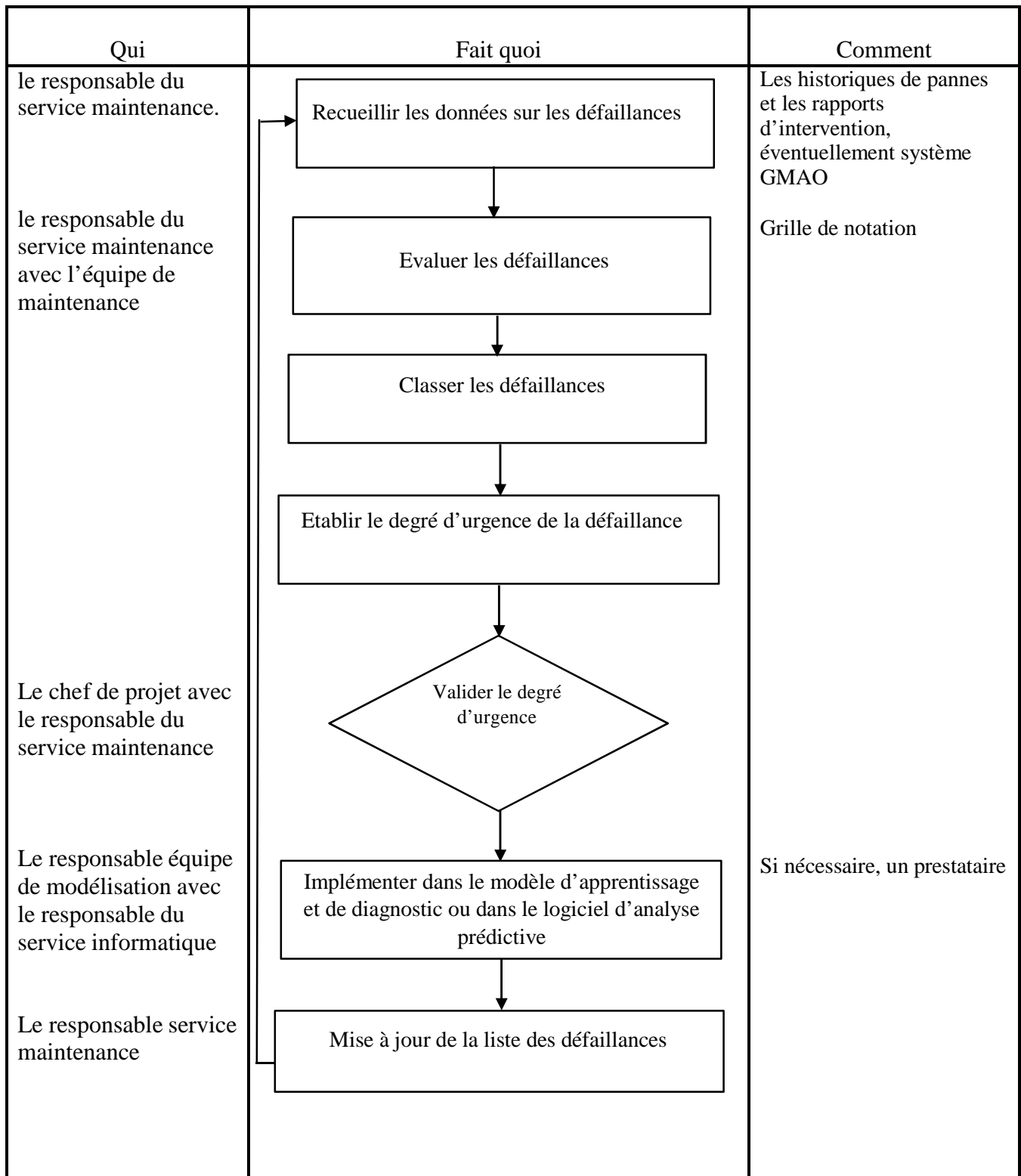


Figure 4.10 : Procédure de gestion du niveau d'urgence.

4.2.5.7. Etablissement des algorithmes d'apprentissage, de traitement et de diagnostic

Le cahier des charges devra également faire référence aux méthodes d'apprentissage, de traitement, et de diagnostic. En effet, l'information la plus complète possible est extraite à partir des signaux délivrés par les capteurs sous forme d'indicateurs. Cette information est traitée ensuite pour la rendre plus robuste et plus pertinente, l'ensemble d'indicateurs pertinents est utilisé pour permettre la correspondance entre les différentes instances et observations aux modes de fonctionnement. Ces opérations nécessitent des algorithmes d'apprentissage et de diagnostic.

Dans le cas où l'entreprise ne dispose pas de ressources humaines et techniques pour l'élaboration d'algorithmes de diagnostic et par la suite d'un logiciel d'analyse, elle peut acquérir un logiciel d'analyse prédictive open source qui donne la possibilité d'être paramétré selon les besoins propres de l'entreprise.

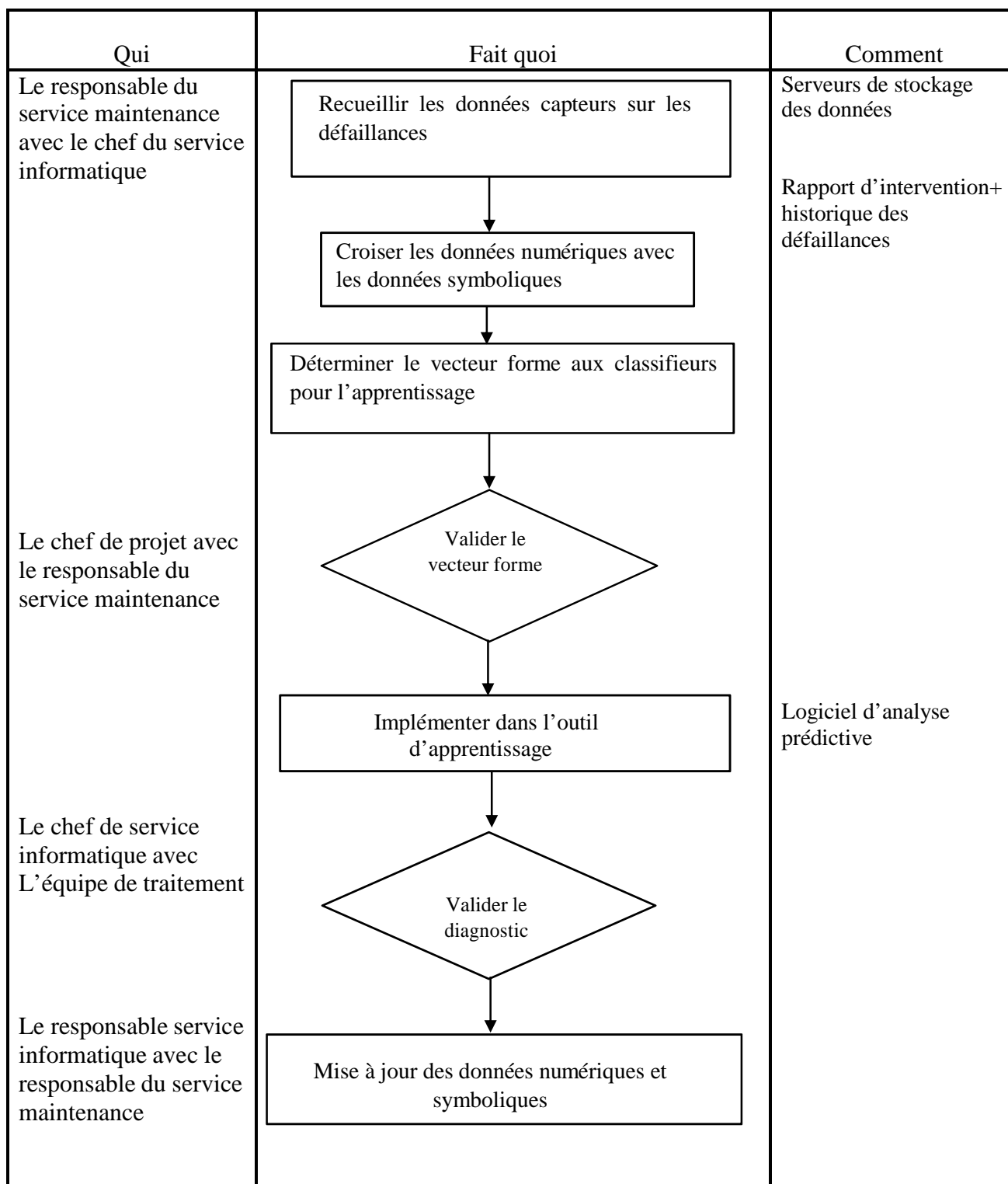


Figure 4.11 : Procédure d'établissement des algorithmes d'apprentissage.

4.2.5.8. Emplacement de la salle de télésurveillance

L'emplacement de la salle doit être pertinent, dans la mesure où il doit répondre à certaines exigences (éviter les espaces confinés, respect de l'ergonomie, isolation contre le bruit). La salle de télésurveillance est capitale dans un système de télésurveillance, pour remédier aux aléas de la connexion sans fil, et des dysfonctionnements occasionnels des supports mobiles (tablettes et smartphones).

4.2.6. Déploiement

Cette étape se manifestera sous forme de plans d'action de déploiement et d'implantation des différents préparatifs élaborés dans le cahier des charges, ainsi que le suivi par des actions pour la bonne mise en œuvre.

4.2.7. Système d'information et gestion d'interfaces de visualisation

Afin d'être informé en continu par les valeurs collectées par les capteurs installés sur le système de production ainsi que les alarmes générées, et d'avoir en permanence la possibilité d'accéder partout au système de télésurveillance (in situ ou à l'externe), on aura besoin d'un système d'informations permettant notamment d'obtenir la liste des capteurs ainsi qu'une cartographie du réseau. Ceci est possible grâce aux interfaces d'application Web, ou des applications mobiles via des smartphones et des tablettes.

La principale vocation de ce système est la diffusion, qui correspond à la mise à disposition des utilisateurs des données du système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Ce système d'information doit tenir compte des supports utilisés pour la distribution des données, la messagerie et la visualisation, de la définition de type de données à transmettre et l'identification des utilisateurs, ainsi que le rafraichissement des données.

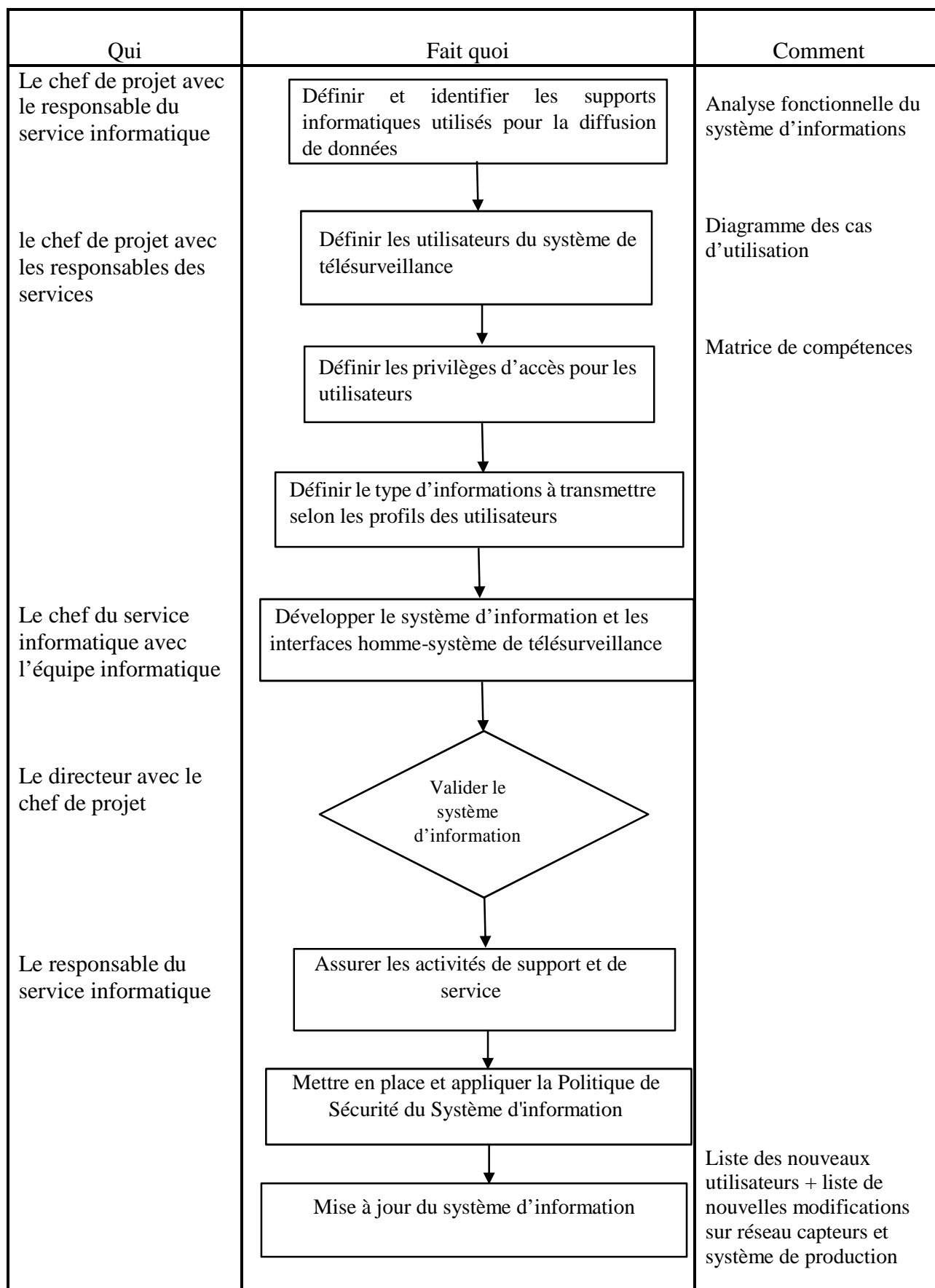


Figure 4.12 : Procédure du système d'information.

4.2.8. Construire une plateforme de développement métier et de formation

Cette plateforme vise à accompagner l'évolution des métiers et des nouvelles compétences. En fait, La diversité des profils du personnel et le niveau des acteurs du système de télésurveillance impose une formation selon la vocation de chaque intervenant. Ceci pour éviter les dysfonctionnements du système engendrés par le facteur humain.

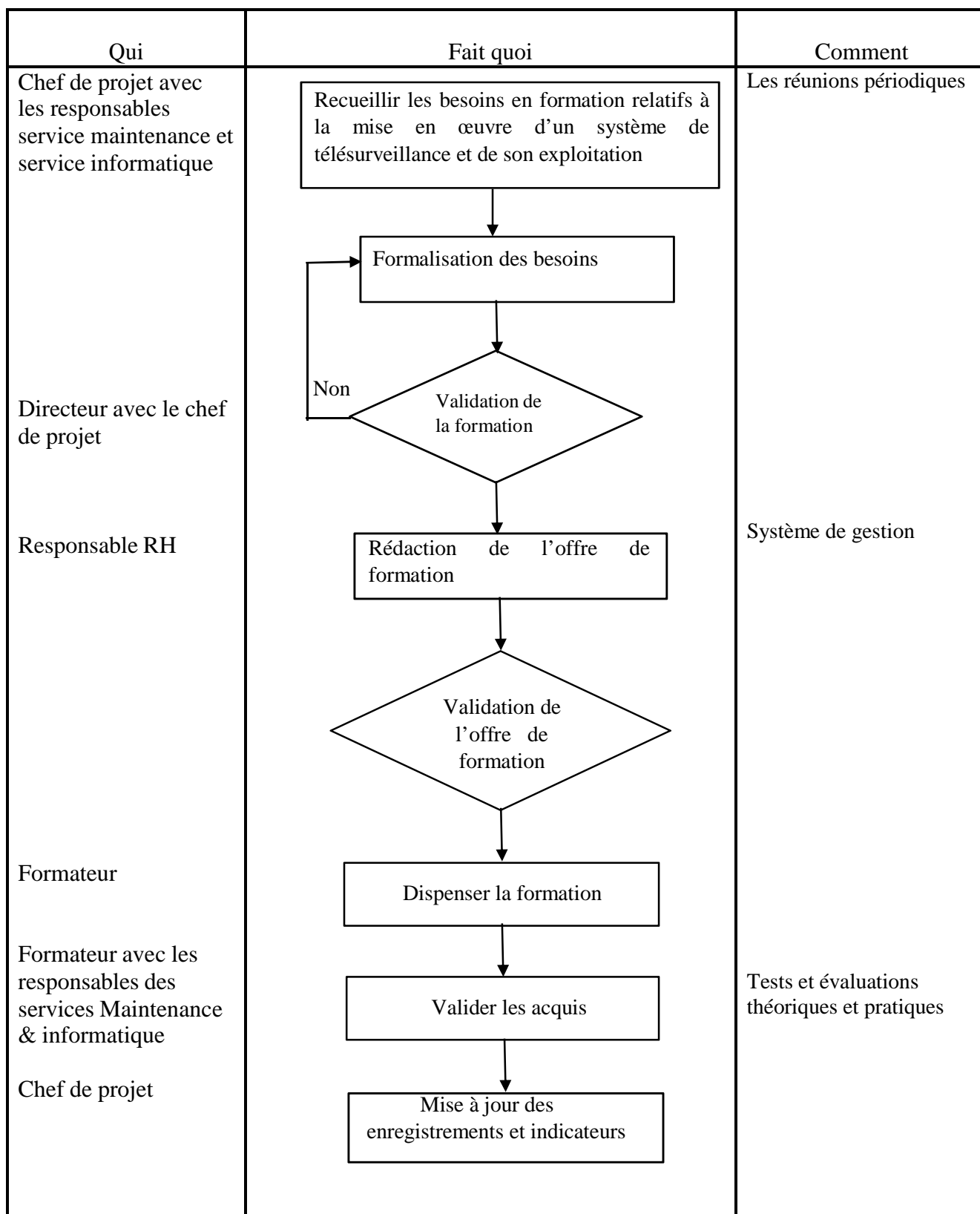


Figure 4.13 : Procédure de plateforme de développement métier et formation.

4.2.9. Evaluation et amélioration continue

La dernière étape mettra en lumière l'évaluation de tout le système de télésurveillance, afin de qualifier les algorithmes, élaborer des standards techniques, des guides de choix et des règles de la mise en œuvre, tout en exploitant le retour d'expérience. Elle fera aussi le point de réflexion sur l'amélioration future.

Cette procédure décrit les modalités permettant de mesurer et d'évaluer les performances d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. L'objectif est de mesurer son efficacité et y apporter des améliorations et des modifications nécessaires.

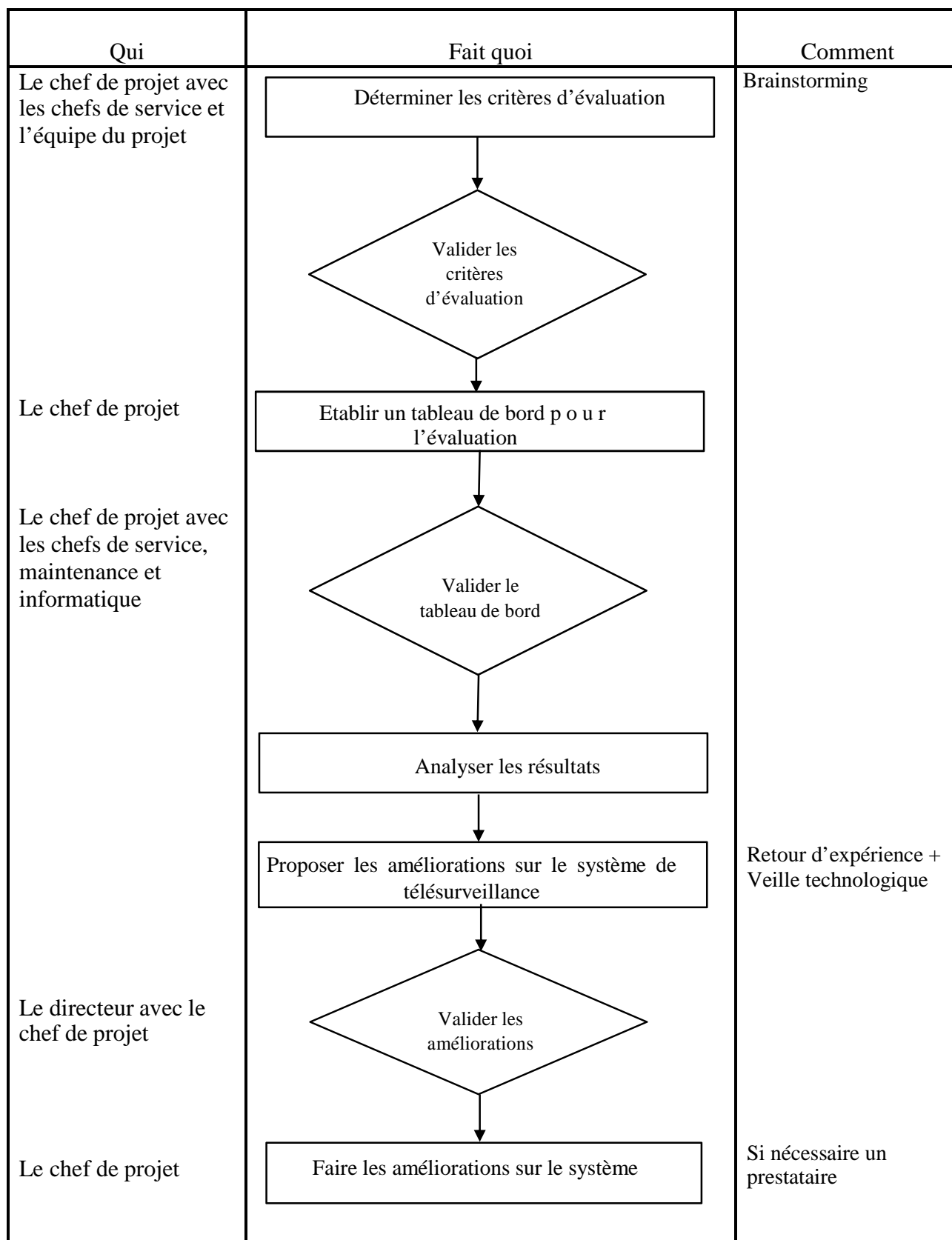


Figure 4.14 : Procédure d'évaluation et d'amélioration continue.

Les différentes étapes d'intégration et de mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, permettent de formaliser la démarche globale suivante :

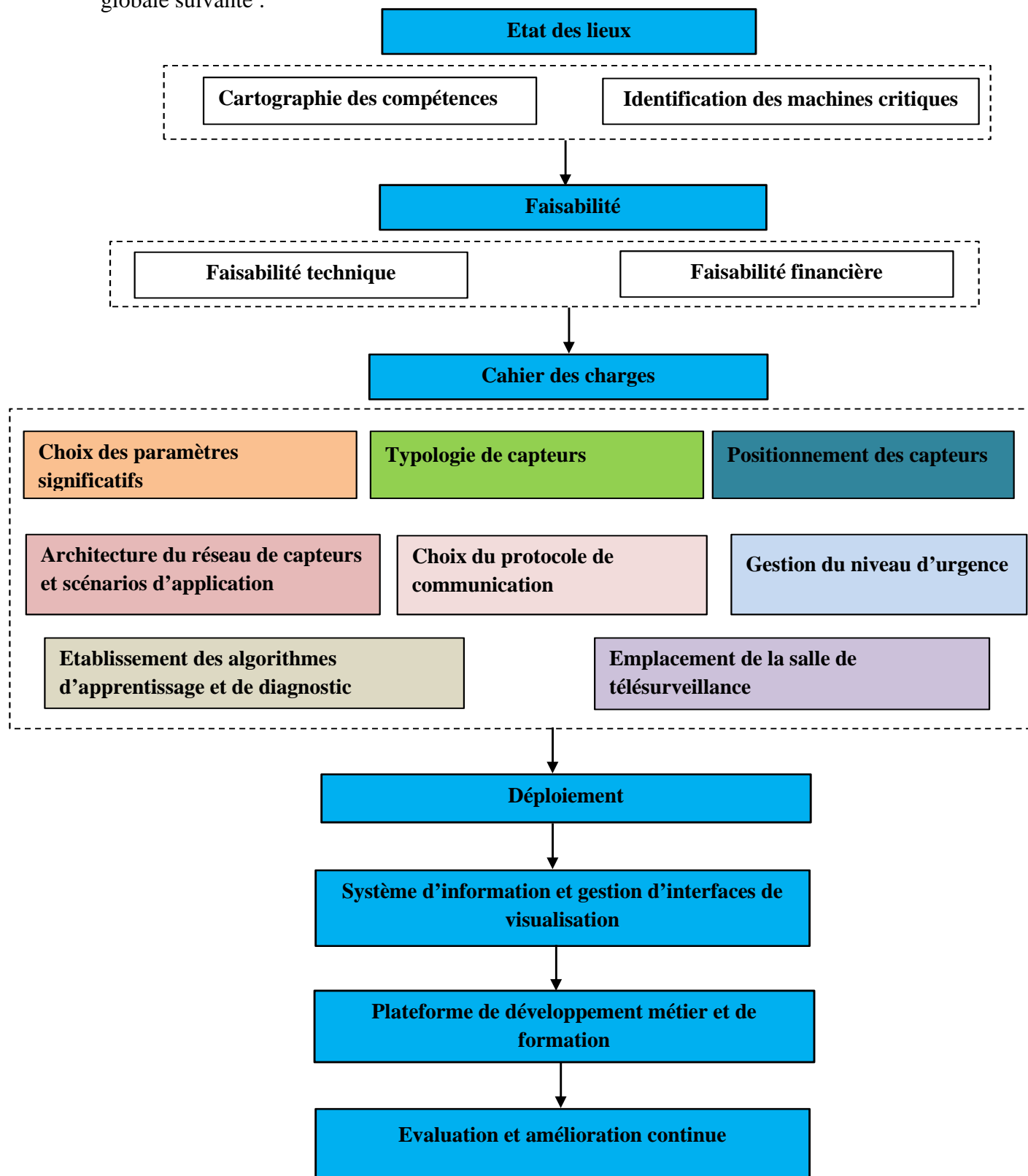


Figure 4.15 : Démarche générique de mise en œuvre d'un système de télésurveillance.

4.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre démarche pour l'intégration et la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, en milieu industriel suite au besoin exprimé par les industriels de l'enquête, dont on a présenté les résultats au niveau du chapitre précédent. En fait 80% des répondants du milieu industriel de cette enquête, estiment que l'entrave capitale contre l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, réside en l'absence d'une démarche globale. Cette démarche générique, a pour objectif principal la description des différentes étapes de mise en œuvre grâce à des procédures élaborées en tenant compte de tous les aspects relatifs à la mise en œuvre d'un tel système. Ces étapes constituent une suite logique qui commence par une phase de l'étude de l'existant à travers un état des lieux. La seconde étape de cette démarche concerne la faisabilité du projet qu'elle soit technique ou financière. Une fois celle-ci est approuvée, elle induit l'élaboration d'un cahier des charges qui devrait se baser sur plusieurs critères tels que : le choix des paramètres significatifs, le choix des protocoles de communication ou la gestion du niveau d'urgence, etc. Ensuite c'est la phase de déploiement suivi par la mise en place d'un système d'information avec la gestion des interfaces de visualisation. Ce qui conduit à la constitution d'une plateforme de développement métier et formation. Afin de mesurer l'efficacité d'un système de télésurveillance et y apporter des améliorations et des modifications, une dernière étape s'impose : il s'agit de décrire les modalités permettant de mesurer et d'évaluer les performances d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

La finalité de cette démarche proposée, est de guider les industriels grâce à des directives de procédures, pour réussir un projet d'intégration et de mise en œuvre d'un système de télésurveillance dans l'entreprise industrielle.

Dans le dernier chapitre de ce manuscrit, nous allons présenter notre contribution en matière de conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents notamment son système d'informations. Cette conception passe par une modélisation avec le langage UML, afin de définir et de décrire d'une manière succincte l'architecture matérielle et logicielle d'un tel système. Ceci dans le but de développer une application informatique pour notre système de télésurveillance.

Chapitre 5

Contribution à la conception d'un système de télésurveillance

5.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons mettre le point sur notre contribution pour la conception d'un système d'information qui est indispensable pour le processus de télésurveillance. Ce système doit tenir compte des constituants reliés à la chaîne de télésurveillance à savoir : le système de production, le réseau de capteurs, l'entrepôt de données, les sources de données complémentaires, les moyens de traitement et d'analyse, ainsi que les systèmes opérationnels et les systèmes de communication et de messagerie. Ainsi, nous allons, dans un premier temps, décrire l'architecture matérielle et logicielle d'un tel système selon une approche fonctionnelle, tout en tenant compte des résultats de l'analyse fonctionnelle du troisième chapitre. Finalement nous allons développer une application informatique nommée TELESYS avec des interfaces ergonomiques. Celle-ci permet de décrire et de gérer le système de télésurveillance pour le système de production.

5.2. Architecture générale

Schématiquement, l'architecture générale d'un système de télésurveillance intègre trois composantes :

- une couche 'acquisition des données' : dont la vocation principale est la prise de mesure ;
- une couche 'agrégation des données' : elle permet le stockage et la diffusion des informations via des serveurs informatiques ;
- une couche 'exploitation des données' : dont le but est de réaliser les analyses, la génération d'alarmes prévisionnelles, et l'établissement de rapports...

Un tel système doit être conçu, dans le but de répondre aux exigences d'une politique de maintenance préventive prévisionnelle. De plus, il doit donner la possibilité d'intégrer plusieurs technologies de capteurs, couplées avec des NTIC, afin d'être dynamique et réactif suite à l'interprétation des données capteurs. Ainsi, ce système doit récupérer en permanence des données délivrées par les capteurs installés sur les systèmes. Ces données seront ensuite acheminées vers un serveur central pour le traitement et l'analyse, afin de prendre la décision adéquate sur les actions à entreprendre.

La télésurveillance d'un système de production basée sur les capteurs intelligents s'appuie sur un système d'information global comprenant les éléments suivants :

- Un ensemble de capteurs intelligents déployés sur le système de production. Ceux-ci sont reliés en réseau pour la collecte en temps réel de données, et selon des scénarios de mesure prédéfinis ;
- Une unité locale d'agrégation de données, qui a pour rôle le stockage et la diffusion des données reçus des capteurs intelligents ;
- Une unité locale pour l'exploitation et le traitement des données. Celle-ci est responsable de la gestion d'une base de connaissances relative à l'état de fonctionnement du système de production, et de l'émission de messages, d'alarmes ou de notifications ;
- Un ensemble d'acteurs (manager du système télésurveillance, informaticien, responsable service maintenance, opérateur de maintenance,...) peuvent accéder à tout moment, après authentification et selon leurs privilèges, aux données du système, au niveau de l'unité locale de traitement.

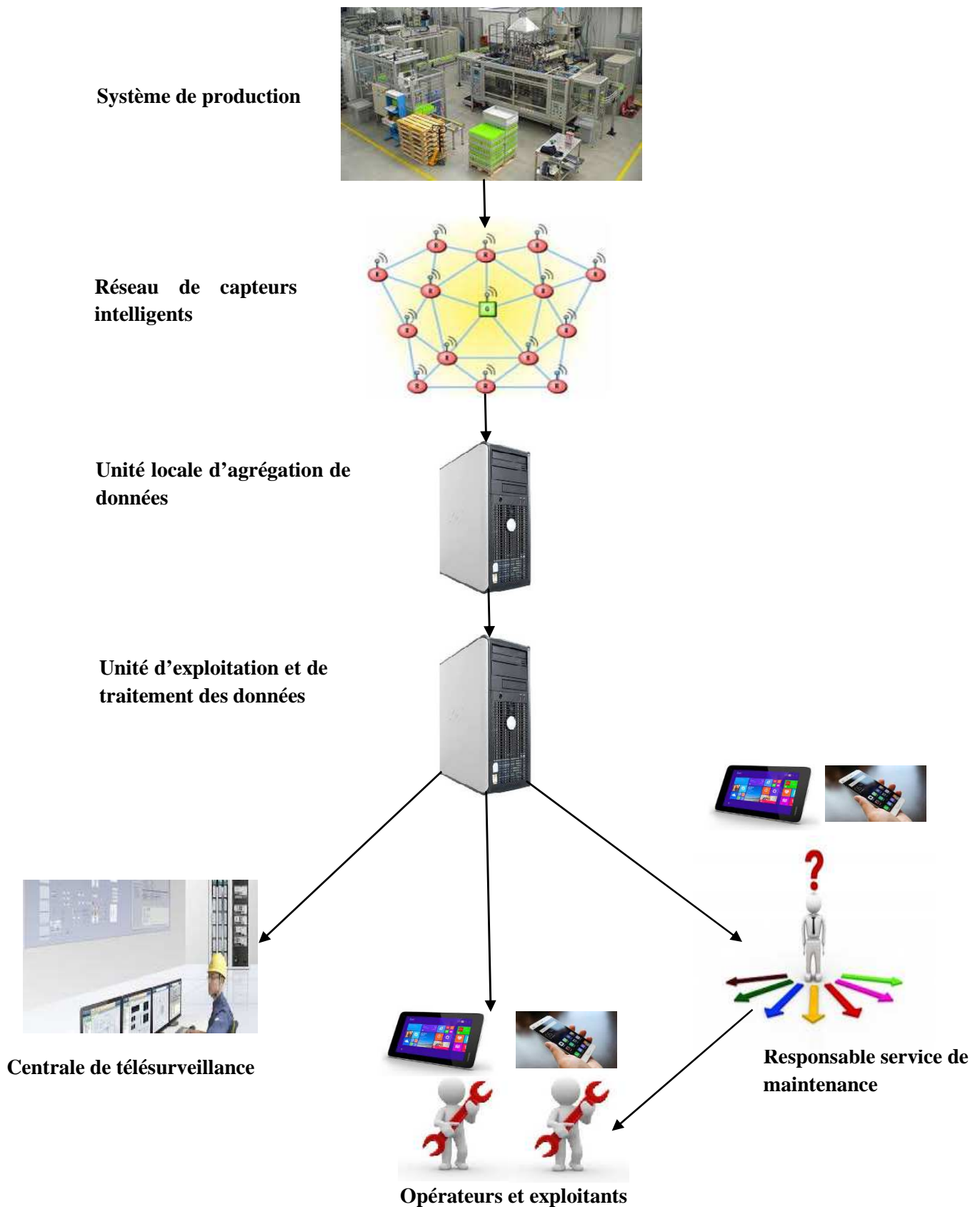


Figure 5.1 : Architecture générale d'un système de télésurveillance.

5.3. Les sous-systèmes du système d'information

Les principales fonctionnalités nécessaires à la mise en place d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production, sont l'acquisition, le stockage et la transmission de données et d'informations relatives au système de production, et enfin l'exploitation et l'analyse pour la prise de décision.

Par conséquent, cette description des fonctionnalités principales conduit aux cinq sous-systèmes clés du développement d'un système d'information pour le système de télésurveillance à base de capteurs intelligents :

1. Système de réseau de capteurs intelligents : Il s'agit d'un réseau de capteurs intelligents, dont la vocation principale est l'acquisition et la transmission à distance des données grâce à la connexion sans fil.

2. Système d'analyse de données : La grande quantité de données collectées par les capteurs intelligents, nécessite la conception de modèles intelligents pour l'extraction d'informations pertinentes qui permettront par la suite, la détection de défaillance sur le système de production ou des signes coureurs de défaillance et par conséquent, l'aide à la décision.

3. Système de base de données : Les données collectées par les capteurs ou les informations extraites doivent être stockées et accessibles pour leur consultation ou leur mise à jour, afin de constituer une base d'apprentissage. Notons aussi que cette base de données doit être aussi alimentée en permanent, par des données symboliques telles que les contrats de garantie, les expertises réalisées sur le système de production, les rapports d'interventions...

4. Système d'interfaces : la finalité principale de ce sous système est que les données et informations issues de la télésurveillance et de l'analyse des données collectées soient facilement accessibles aux différents acteurs du système tout en respectant des consignes d'ergonomie.

5. Système de communication et de messagerie : Il s'agit de permettre l'interopérabilité des quatre sous-systèmes précédents à travers un réseau qui relie les différents acteurs du système de télésurveillance.

Ainsi, la complexité de la mise en place d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production se traduit par :

- L'intégration de la technologie de capteurs intelligents couplée avec des moyens de télécommunications ;
- Le nombre d'acteurs impliqués dans le système de télésurveillance ;
- La diversité des techniques informatiques utilisées aux différents niveaux d'acquisition, d'enregistrement, de stockage, d'analyse et de transmission des données ;
- La quantité croissante des données collectées par les capteurs intelligents,
- Le traitement de ces données nécessite le recours à une forme d'intelligence artificielle ;
- La difficulté de modélisation de l'état de fonctionnement du système de production en temps réel. En effet, le système de télésurveillance doit offrir un traitement rapide et pertinent d'un large éventail de données évoluant au cours du temps, afin de répondre à l'objectif de détection des défaillances, ou de signes coureurs de celles-ci du système de production ;
- L'hétérogénéité des données collectées, qu'elles soient numériques ou symboliques, impose une fusion de celles-ci. L'objectif est d'extraire l'information la plus complète possible. Elle sera utilisée par la suite comme vecteur d'entrée de la base d'apprentissage pour permettre d'assigner les différentes instances et observations aux modes de fonctionnement.

Suite à l'analyse fonctionnelle présentée dans le troisième chapitre de ce manuscrit, un système de télésurveillance doit respecter certaines exigences :

- Facilité d'utilisation : le système doit être simple et ergonomique via des interfaces simples ;
- Faible coût de déploiement : le matériel utilisé dans le cadre de la télésurveillance doit être indépendant de l'environnement de l'opérateur de maintenance, ainsi la technologie sans fil s'impose ;
- Mobilité des opérateurs de maintenance : le système de télésurveillance doit tenir compte de cette contrainte, par la mise à leur disposition de dispositifs technologiques (tablettes, smartphones) afin d'être informés en continu et d'avoir en permanence la possibilité d'y accéder partout ;

- Paramétrage et reconfiguration : le système de télésurveillance doit permettre le paramétrage à distance, et la reconfiguration grâce à la technologie des capteurs intelligents. En fait, le développement, de la microélectronique a permis d'intégrer de nouvelles technologies, au sein des capteurs, celles de l'intelligence embarquée. Grâce au numérique, de nouvelles fonctionnalités sont disponibles : correction des erreurs, auto ajustage, reconfiguration et communication numérique [159].

Les notions de paramétrage et de reconfiguration rendent le système plus intelligent, dans la mesure où, il serait capable de se reconfigurer, selon les compétences de l'opérateur de maintenance, et les reconfigurations du système de production. De même, les notions d'extension et de mise à jour traduisent aussi l'aspect de paramétrage et reconfiguration : le système doit offrir la possibilité d'extension et de mise à jour du système à surveiller, par exemple l'ajout d'une nouvelle machine au système, ou des capteurs supplémentaires à installer ou à retirer à la chaîne de mesure.

5.4. Architecture réseau d'un système de télésurveillance

Cette architecture réseau est basée sur la mise en place de deux serveurs (local et distant). Le choix d'une architecture distribuée est justifié par la nécessité de sécuriser et d'enregistrer les données capteurs installés sur le système de production, sur un serveur distant hébergé (centralisation et traitement de calcul). Ce qui permet également de gérer toutes les composantes du système de production, à partir d'un seul serveur de calcul et de traitement. L'utilisation de capteurs intelligents permet d'envoyer grâce à une communication sans fil les données au serveur local de données. Le serveur local (serveur de données) est connecté au réseau internet. Cette connexion permet d'avoir la possibilité de l'envoi des données recueillies vers le serveur de calcul et de traitement (serveur distant). Ainsi, les utilisateurs peuvent consulter les informations hébergées sur ce serveur en permanence.

La connexion du système au réseau Internet permet d'organiser les échanges avec tous les acteurs concernés : le manager du système, le responsable du service de maintenance, les exploitants, les opérateurs de maintenance et le staff technique.

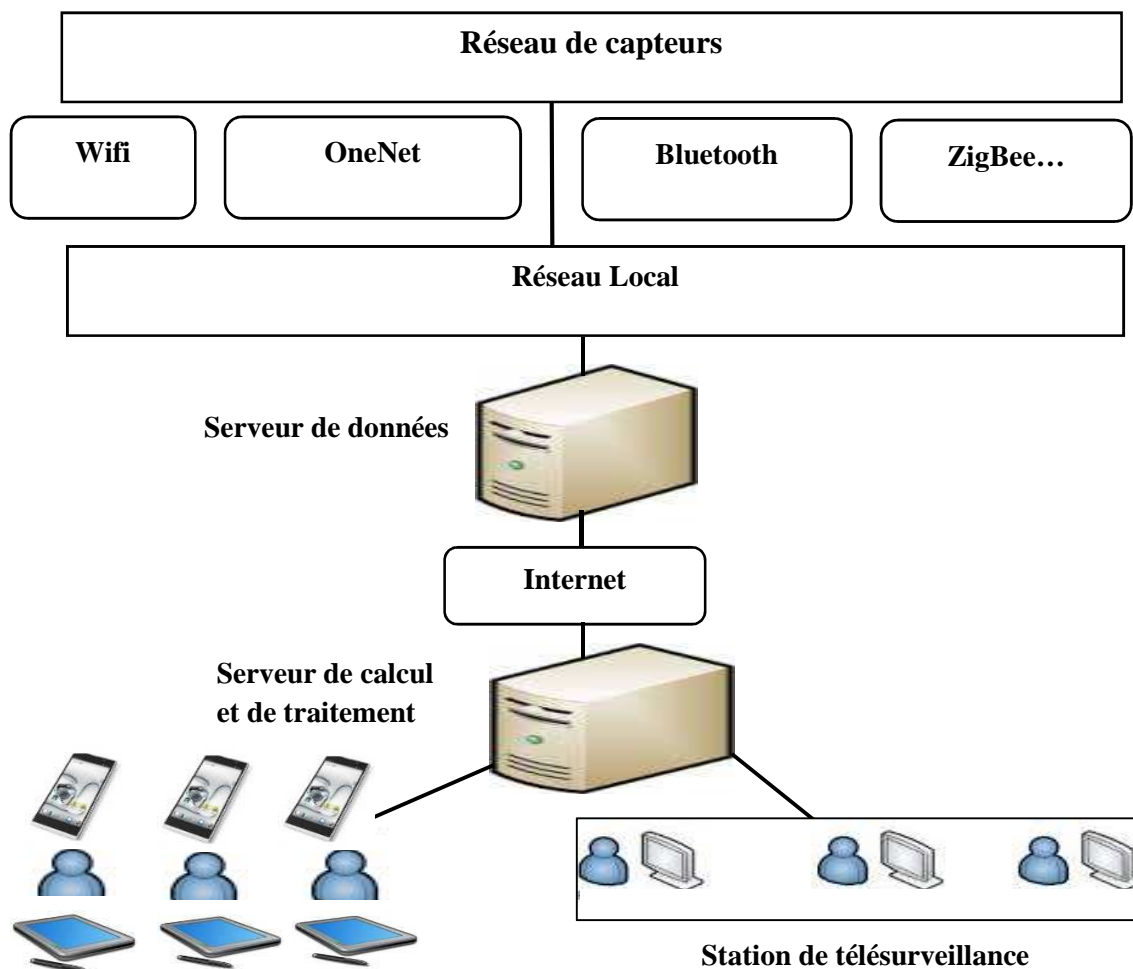


Figure 5.2 : Architecture réseau d'un système de télésurveillance [160].

5.5. Modélisation fonctionnelle de TELESYS

Pour la modélisation de notre application, on a choisi le langage UML (Unified Modeling Language) qui permet de modéliser un problème de façon standard.

5.5.1. Langage UML

UML est un langage de modélisation qui permet d'exprimer et d'élaborer des modèles objet, indépendamment de tout langage de programmation. L'UML est sous l'entière responsabilité de l'OMG (Object Management Group). Il a été conçu pour servir de support à une analyse basée sur les concepts objet. Il se définit comme un langage de modélisation graphique et textuelle, destiné à comprendre et à décrire des besoins, à spécifier et documenter des systèmes, à esquisser des architectures logicielles, à concevoir des solutions et à communiquer des points de vue.

UML unifie à la fois les notations et les concepts orientés objet. Il ne s'agit pas d'une simple notation graphique, car les concepts transmis par un diagramme ont une sémantique précise et sont porteurs de sens au même titre que les mots d'un langage [161].

UML unifie aussi les notations nécessaires aux différentes activités d'un processus de développement et offre, par ce biais, le moyen d'établir le suivi des décisions prises, depuis l'expression des besoins jusqu'au codage. De plus, UML s'articule autour de plusieurs types de diagrammes, chacun d'eux étant dédié à la représentation des concepts particuliers d'un système logiciel. Ainsi, nous allons représenter seulement ceux qui sont utilisés dans le cadre de notre contribution et qui sont :

- Le diagramme de contexte ;
- Le diagramme de packages ;
- Le diagramme de cas d'utilisation ;
- Le diagramme de séquence.

a) Diagramme de contexte

Dans le processus d'analyse, il se situe au début. Son objectif est simple : Il doit présenter le système à modéliser, en général sous la forme d'une « boîte noire » ainsi que les différents acteurs qui interagissent avec ce système.

b) Diagramme de packages

Le diagramme de packages permet de décomposer le système en catégories ou parties plus facilement observables, appelés « packages ». Cela permet également d'indiquer les acteurs qui interviennent dans chacun des packages.

c) Diagrammes de cas d'utilisation

Les cas d'utilisation permettent de modéliser et de structurer les interactions entre les utilisateurs au sens large, appelés acteurs du système. Les cas d'utilisation représentent un moyen d'analyse des besoins utilisateurs et permettent de relier les actions faites par un utilisateur avec les réactions attendues d'un système. Plus précisément, un cas d'utilisation unitaire est une abstraction d'un ensemble de scénarios concrets effectués sur l'initiative d'un type d'utilisateurs [162].

d) Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est la représentation graphique des interactions entre les acteurs et le système dans un ordre chronologique. Il décrit le dialogue entre les acteurs dans chaque cas d'utilisation en fournissant des détails fonctionnels [162].

5.5.2. Contexte du système TELESYS

Le système TELESYS a comme fonctions principales l'administration, la gestion, le pilotage, ainsi que la description des composants du système de télésurveillance d'un système de production à base de capteurs intelligents. Ceci, dans le cadre d'une maintenance préventive, notamment prévisionnelle. Cette fonction met en interaction des acteurs avec le système.

5.5.3. Acteurs du système de télésurveillance

La conception d'un tel système, doit commencer par l'identification des acteurs d'un tel système. Nous pouvons identifier plusieurs profils qui correspondent aux acteurs du système, ainsi nous distinguons principalement les acteurs suivants :

1- Le manager du système :

C'est l'acteur principal du système, ses contributions se traduisent par les actions suivantes :

- Gérer les opérations sur le système de télésurveillance (modifications sur le réseau de capteurs, suppression d'un capteur, ajout d'un capteur, usage d'un autre protocole de communication, nouveaux éléments critiques du système de production...);
- Aviser le staff technique concernant les éventuelles modifications à apporter au système, et envoyer les demandes au staff technique ;
- Définir les privilèges d'accès pour les utilisateurs, ainsi que le type d'informations à transmettre selon les profils des utilisateurs ;
- Valider les données de la base de traitement et analyser avec l'appui du staff technique ;
- Visualiser les requêtes sur le système ;
- Approuver les rapports, et valider les interfaces du système et sa mise à jour ;
- Une autre vocation est attribuée au manager du système, il s'agit d'élaborer le tableau de bord du système d'information à l'aide du staff technique, et le communiquer à sa hiérarchie, ainsi qu'au responsable de la maintenance.

2- Le responsable du service maintenance :

Il intervient d'une manière active, et en collaboration étroite avec le manager du système, au niveau du système de télésurveillance, dans la mesure où il assure les tâches suivantes :

- Modifier les privilèges d'accès pour les utilisateurs, et aussi le type d'informations à transmettre selon les profils des utilisateurs ;
- Définir les éléments critiques du système de production ;
- Demander des modifications sur le réseau de capteurs ;
- Transmettre les modifications de privilèges d'accès au manager du système ;
- Définir les scénarios d'applications du réseau de capteurs ;
- Recevoir instantanément les sorties de l'unité locale de traitement et d'analyse ; et peut télécharger toutes les données complémentaires sur l'historique récent du système de production ;
- Prendre des décisions en matière d'actions à entreprendre ;
- Planifier les interventions, commenter ses décisions, et alerter la production et le manager du système ;
- Être notifié sur les éventuels changements dans le système de télésurveillance par le manager du système.

3- L'exploitant :

Ses tâches principales consistent à :

- Recevoir les notifications du contrôle du responsable de service de maintenance ;
- Consulter les états de fonctionnement du système de production à distance ;
- Gérer la situation, acquiescer qu'il a été informé, agir sur les actionneurs, alerter le responsable de maintenance, commenter ses interventions.

4- L'opérateur de maintenance :

Il constitue un acteur pilier du système de télésurveillance, ses contributions vis-à-vis du système de télésurveillance consistent à :

- Recevoir les notifications sous contrôle du responsable de service de maintenance ;
- Recevoir instantanément les informations issues de la base de traitement selon son profil et ses compétences, et télécharger quelques données complémentaires sur l'historique à l'aide de tablette ou de smartphone mis à sa disposition ;
- Consulter les états de fonctionnement du système de production à distance ;

- Acquitter qu'il a été informé, exécuter les tâches de maintenance, alerter les niveaux supérieurs d'intervention, et commenter ses interventions.

5- Le staff technique :

Il est constitué principalement par le responsable du service informatique et du personnel ayant des compétences en matière de capteurs intelligents et l'administration des réseaux sans fil et des systèmes d'informations, ses tâches principales se traduisent comme suit :

- Recevoir les demandes de modifications, et exécuter les modifications sur le système sous contrôle du manager du système et du responsable de la maintenance ;
- Faire le suivi de l'état de fonctionnement des capteurs constituant le réseau, il est de même responsable de la maintenance et de la configuration de ce réseau de capteurs selon les exigences du responsable du service maintenance ;
- Communiquer l'état du réseau au manager du système ainsi qu'au responsable de maintenance ;
- Elaborer aussi les interfaces du système de télésurveillance.

5.5.4. Diagramme de contexte

La figure ci-dessous représente le diagramme de contexte de notre application TELESYS.

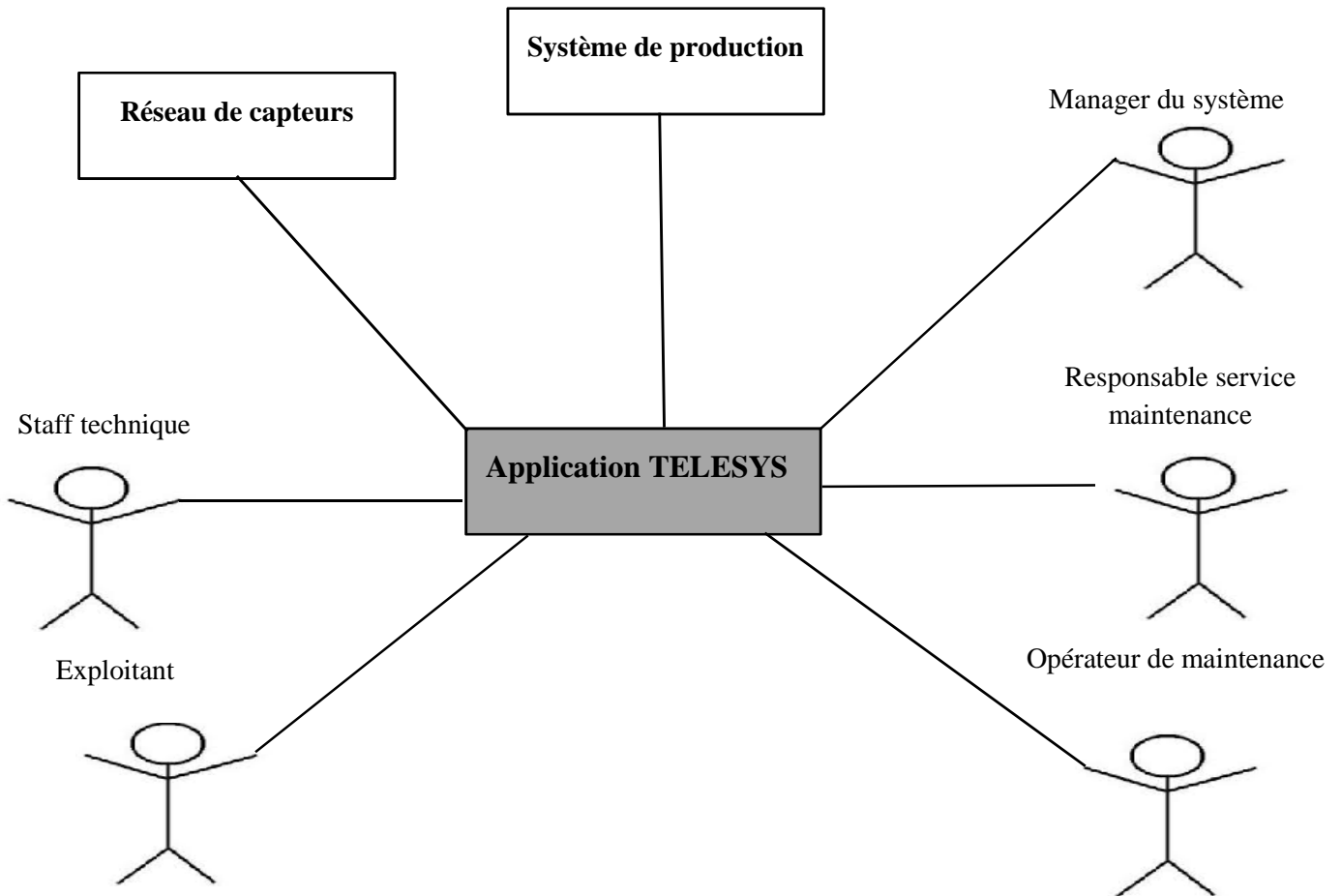


Figure 5.3 : Diagramme de contexte de l'application TELESYS.

5.5.5. Diagramme de packages

Comme expliqué auparavant, le Système se compose cinq sous système. Ce sont les packages de notre modélisation. La figure ci-dessous représente le diagramme de packages.

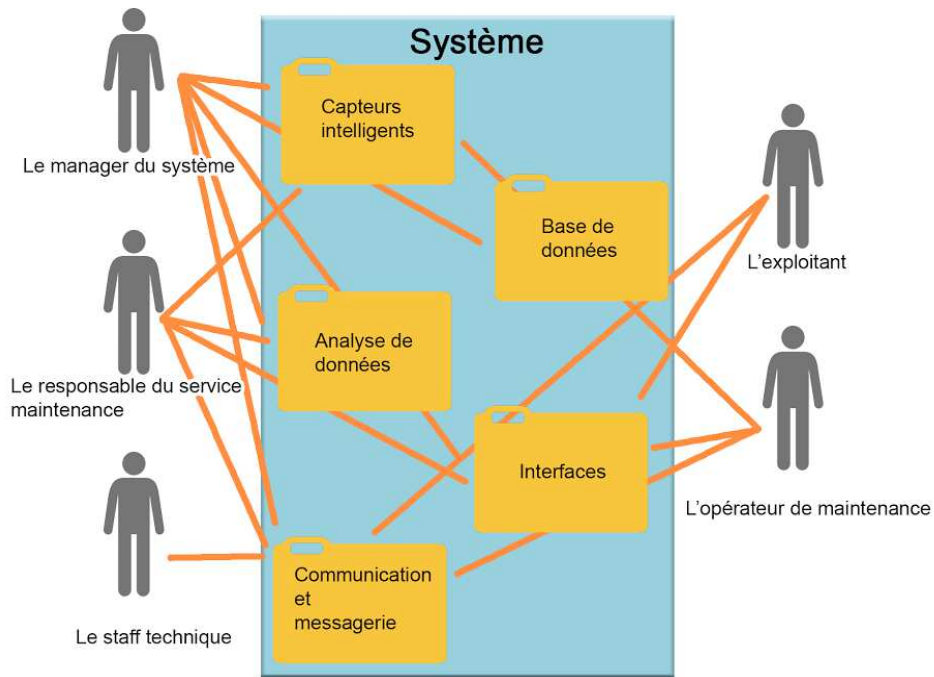


Figure 5.4 : Diagramme de packages de l'application TELESYS.

5.5.6. Diagrammes des cas d'utilisation

Les figures suivantes représentent les cas d'utilisation de notre application TELESYS :

5.5.6.1. Sous système : Réseau de capteurs intelligents

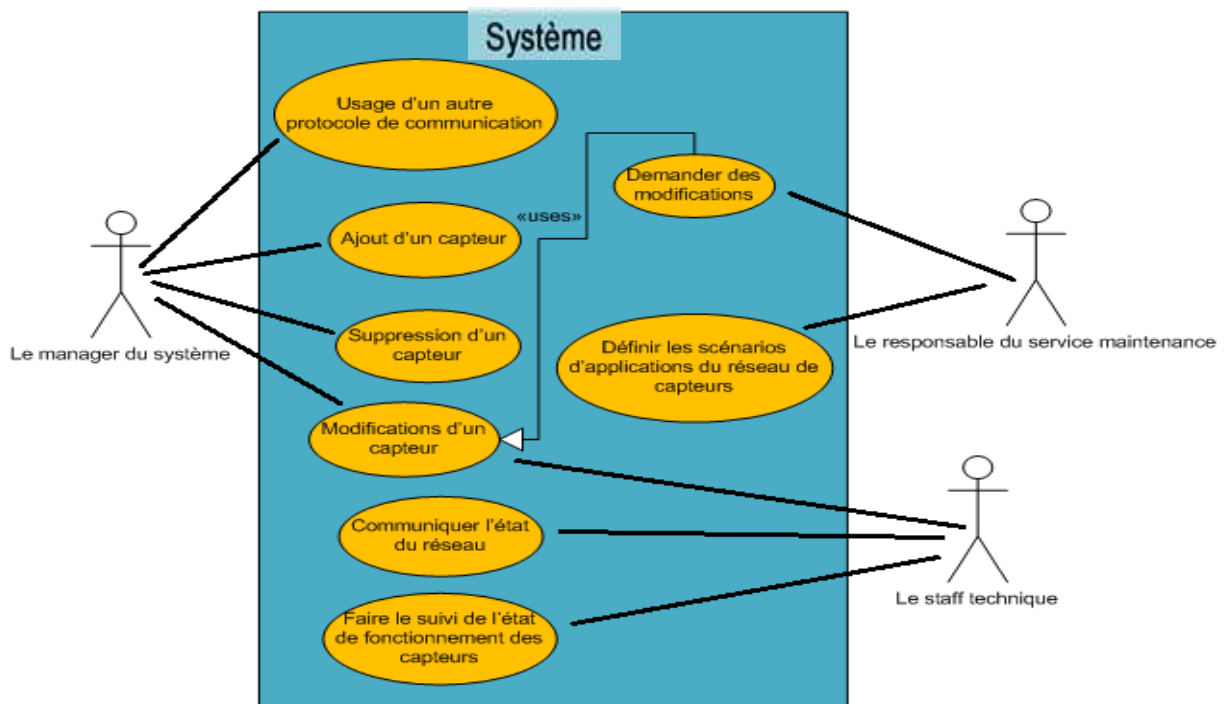


Figure 5.5 : Diagramme de cas d'utilisation de réseau de capteurs intelligents.

5.5.6.2. Sous système : Système de base de données

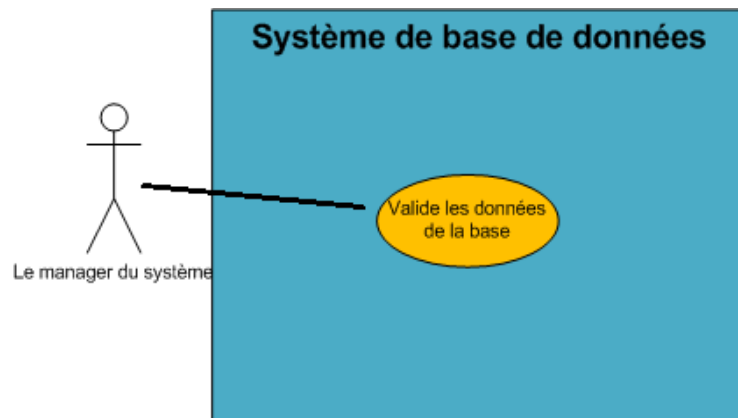


Figure 5.6 : Diagramme de cas d'utilisation de base de données.

5.5.6.3. Sous système : Système d'analyse de données

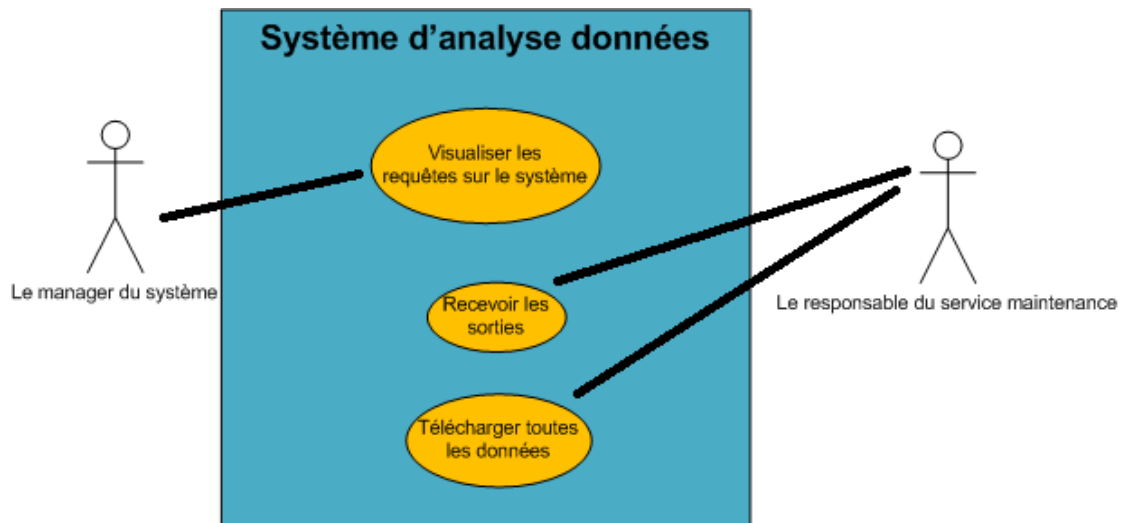


Figure 5.7 : Diagramme de cas d'utilisation du système d'analyse de données.

5.5.6.4. Sous système : Interfaces

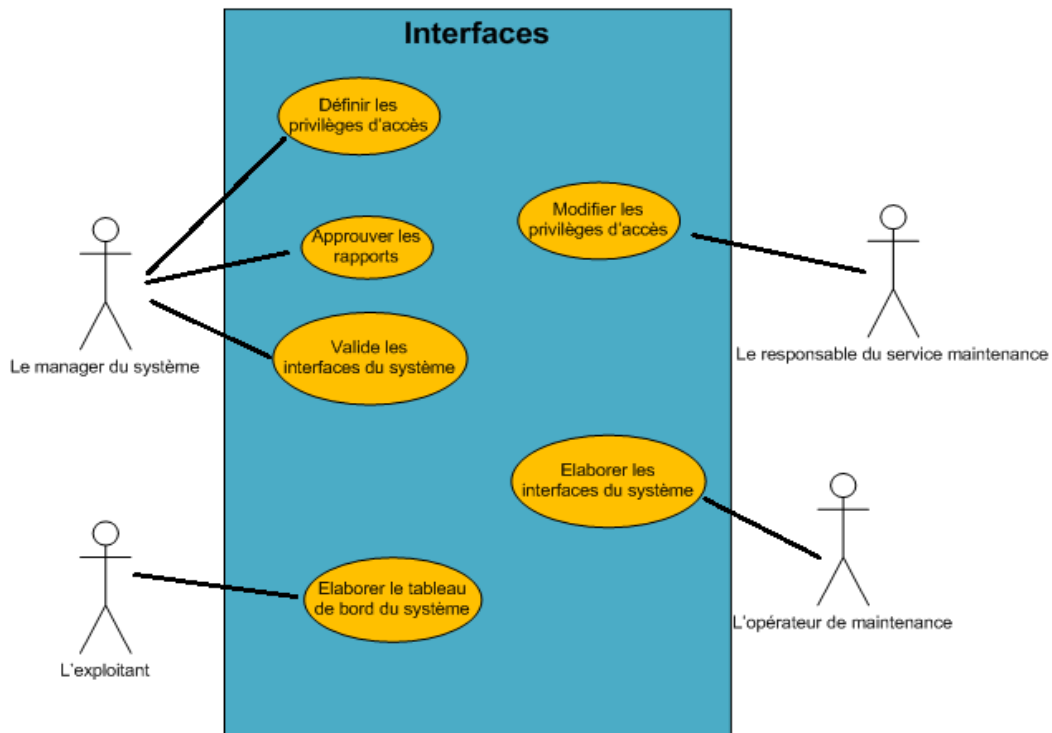


Figure 5.8 : Diagramme de cas d'utilisation des interfaces.

5.5.6.5. Sous système : Système de communication et de messagerie

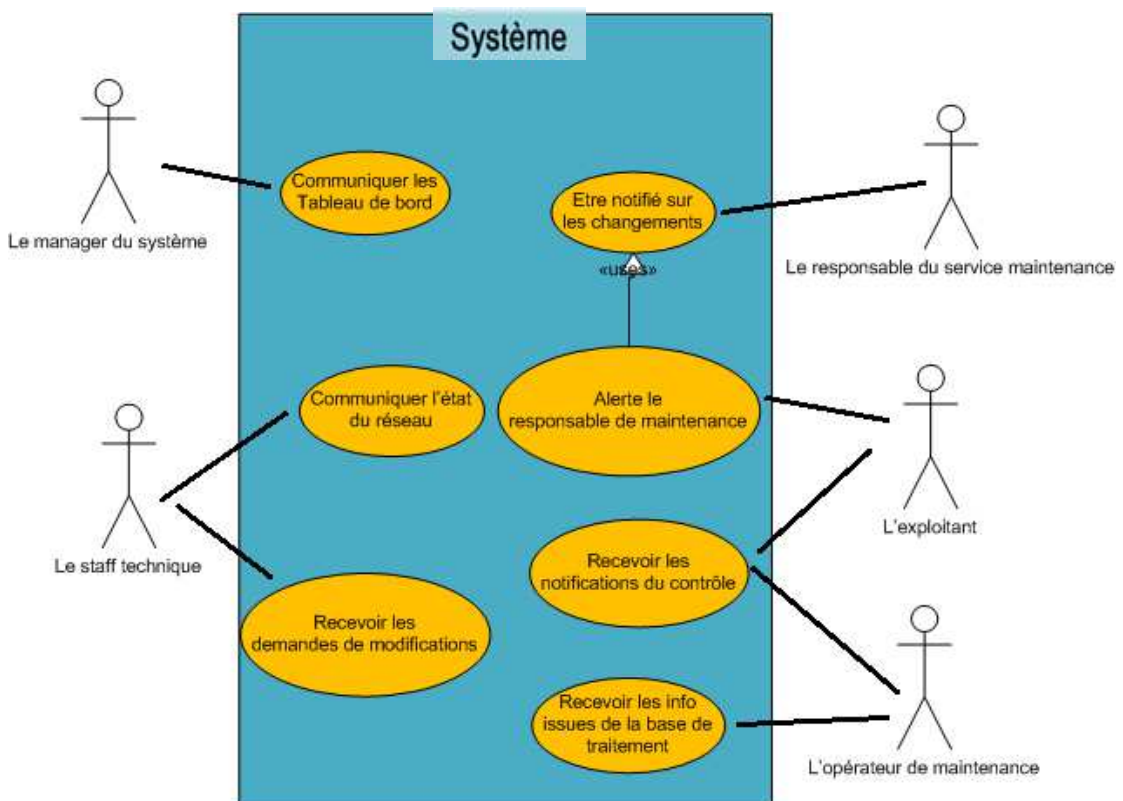


Figure 5.9 : Diagramme de cas d'utilisation du système de messagerie et de communication.

5.5.7. Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence présente les interactions entre les différents acteurs du système. Ces interactions détaillent les messages échangés entre ces acteurs dans un ordre chronologique dans le but d'assurer la fonction principale qui est la télésurveillance. Les données recueillies par les capteurs intelligents sont sauvegardées dans la base du système puis subissent un traitement pour en extraire l'information utile. Cette opération de diagnostic génère une alerte en cas de défaillance ou apparition de signes courriers de défaillances, ou aussi dans le cas de franchissement d'un seuil de paramètres significatifs de fonctionnement, qui n'est pris en compte par le système, que si, et seulement si, le responsable de maintenance le valide. Cela déclenche une opération de réapprentissage qui permet le réajustement des seuils des alertes prévisionnelles.

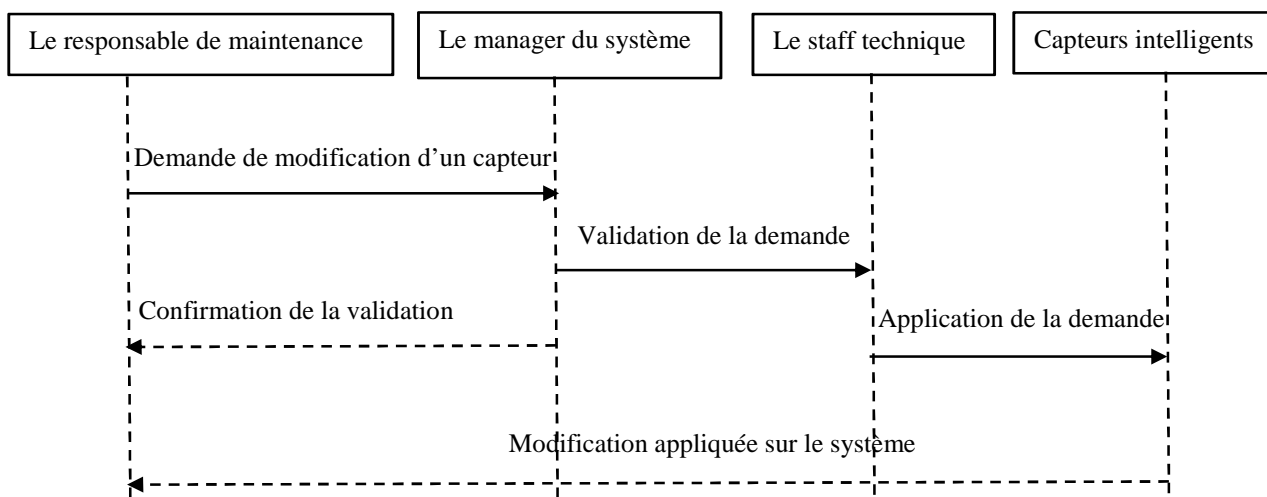


Figure 5.10 : Exemple de diagramme de séquence pour la modification d'un capteur.

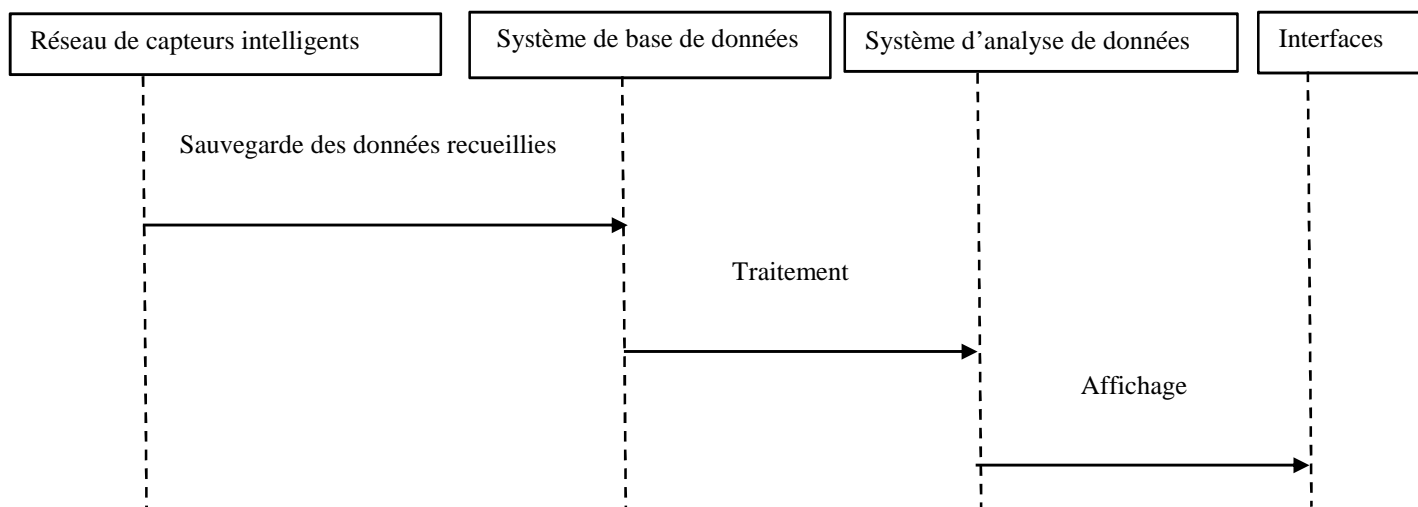


Figure 5.11 : Exemple de diagramme de séquence pour le cycle de données.

5.6. Architecture système de l'application TELESYS

L'architecture système de notre application que nous allons développer par la suite, comprend un serveur central qui collecte toutes les données issues des capteurs intelligents, hormis la tâche de collecte des données émises par les capteurs intelligents et la constitution d'une base de données en temps réel, une autre vocation est assignée au serveur central, il s'agit de la création et l'actualisation permanente d'une base de données historiques.

Ce système doit avoir la capacité d'être multi support. De ce fait, nous devons donner à l'utilisateur le choix entre les applications mobiles pour suivre l'évolution des indicateurs, des applications web, ou carrément de planifier et configurer à travers une application installée sur un poste fixe (Windows). Comme indiqué sur la figure ci-dessous, les données seront envoyées d'une façon cryptée sur un système hautement sécurisé en termes d'accès. D'autre part, un système de duplication de base de données sera mis en œuvre afin d'avoir une base toujours accessible, si un serveur tombe momentanément en panne. Le serveur d'application (App server) sera aussi hautement disponible à travers un système de balance, qui permet d'équilibrer les charges.

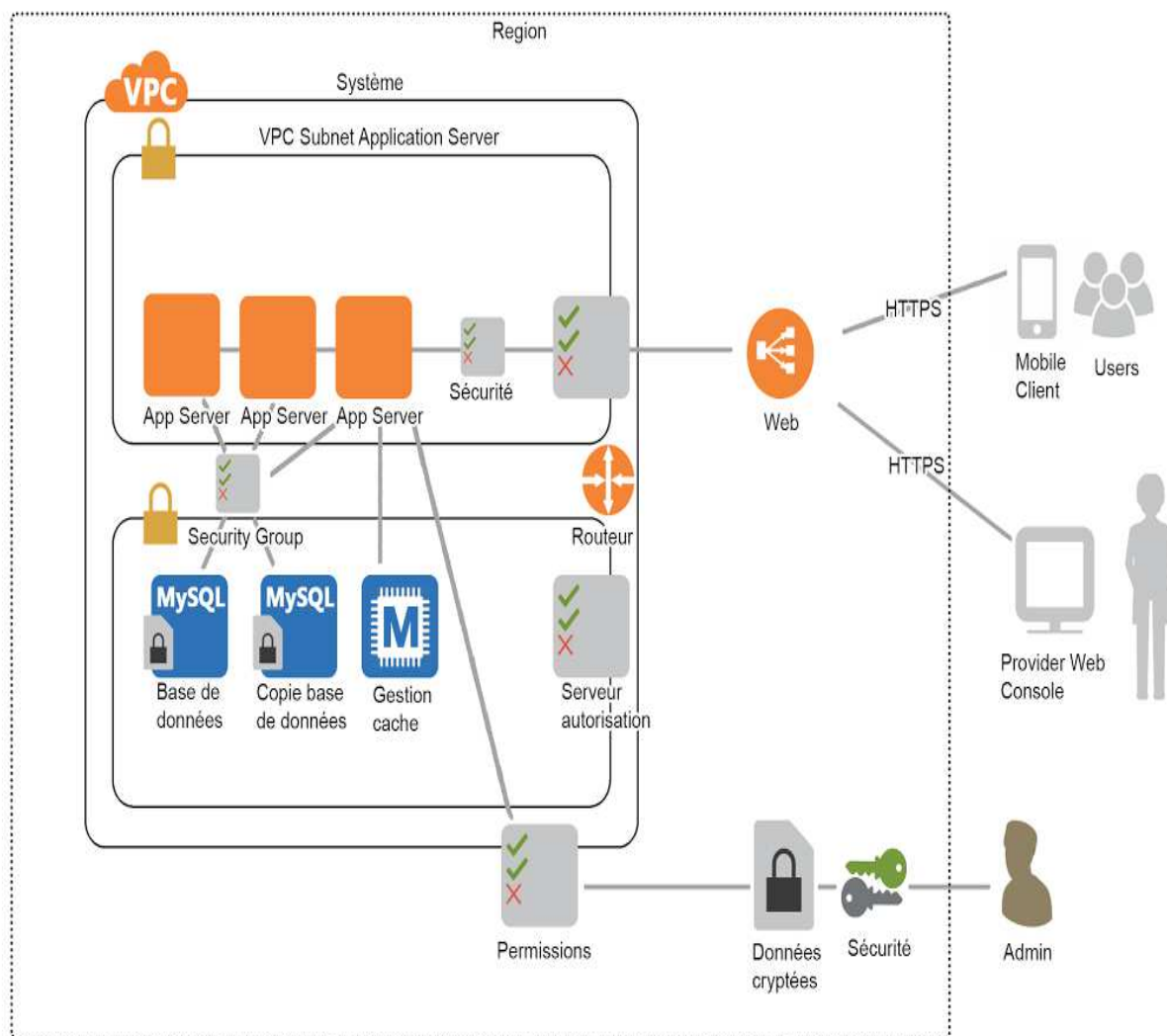


Figure 5.12 : Architecture système de l'application de télésurveillance [160].

Conceptuellement, le système doit être conçu sur plusieurs couches, afin d'être évolutif, ainsi les couches qui s'imposent sont :

- Une interface web qui permet de récupérer les valeurs, les valider côté interface, ou de les afficher ;
- Une couche de contrôle qui permet de contrôler la requête reçue, à travers une authentification, puis de l'envoyer vers la couche la plus basse, ou vers l'interface utilisateur ;
- Une couche de façade, qui va faire appel au service adéquat, et faire le traitement nécessaire, puis appeler la couche accès aux données ;
- Une Couche d'accès aux données : Permet de lire à partir de la base, ou d'écrire.

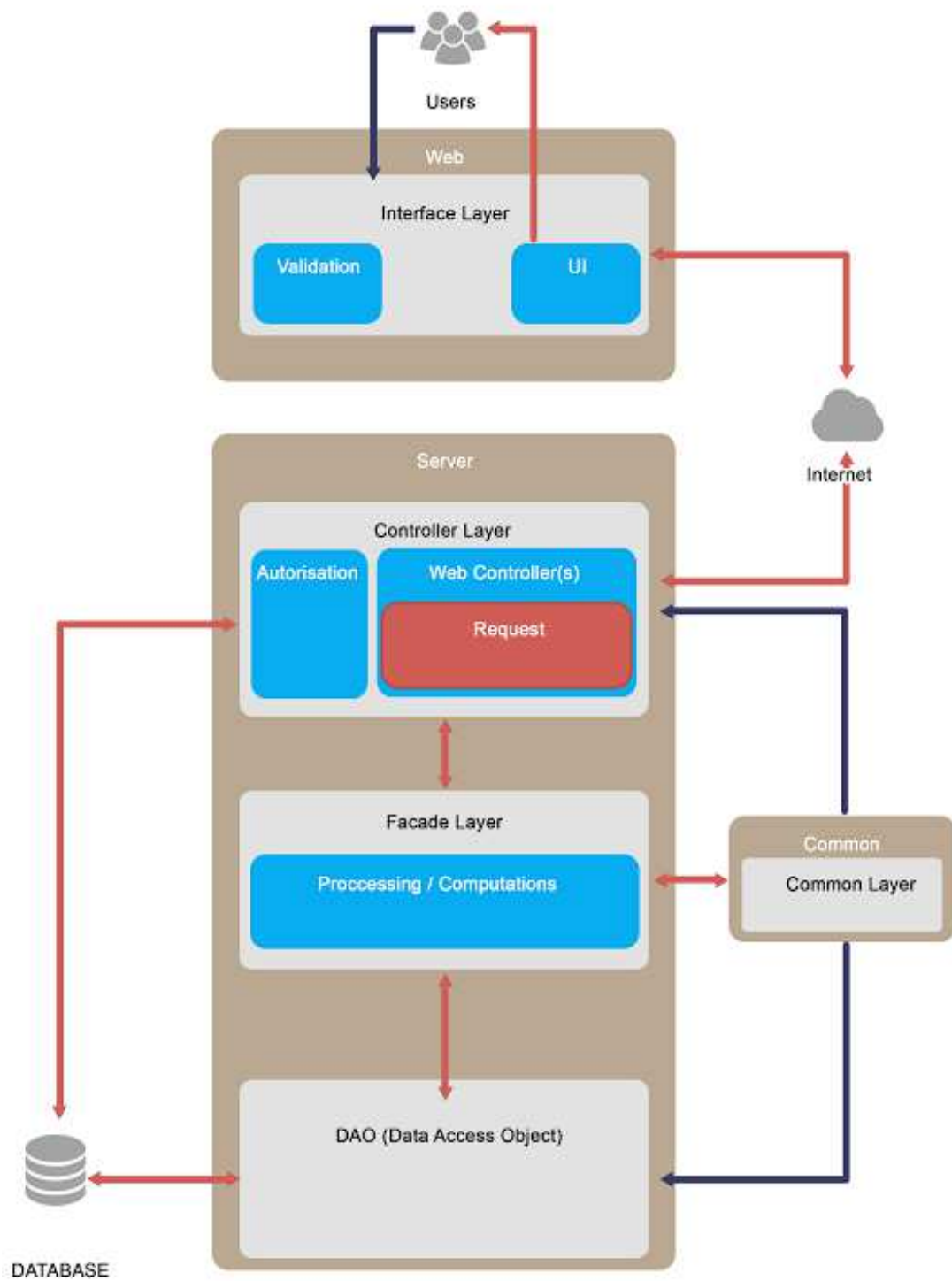


Figure 5.13 : Couches d'un système de télésurveillance [160].

5.7. Interfaces de visualisation et de gestion

Nous avons développé pour le système de télésurveillance TELESYS, deux interfaces qui permettent la visualisation et la gestion du système de télésurveillance. Chaque membre des acteurs ou des utilisateurs doit s'identifier dans l'espace utilisateur pour avoir l'accès à l'interface qui lui correspond dans l'application TELESYS.

A titre indicatif, une interface opérateur ou exploitant, est un système d'alertes et de notifications générées grâce à un algorithme de fusion et de diagnostic. Ces alertes et notifications doivent être communiquées selon la priorité du niveau d'urgence aux acteurs du système de télésurveillance accompagnées de commentaires automatiquement générés par le système. En effet, ces alertes sont communiquées aux exploitants ou aux opérateurs de maintenance pour déclencher les actions nécessaires : soient les exploitants agissent sur les actionneurs pour reconfigurer le système de production ou bien, les opérateurs de maintenance interviennent dans le cadre de tâches de maintenance. Cette série d'interventions donne lieu à la création automatique d'un dossier informatique lié à l'événement observé.

5.7.1. Application temps réel

C'est une interface Homme-Machine « IHM » technique, qui permet de gérer la connexion à la base de traitement et d'analyse de données. Le système collecte et sauvegarde les données dans une base de données locale. Celles-ci seront acheminées vers une base de traitement et d'analyse. Ainsi, Cette IHM offre aux utilisateurs selon les privilèges d'accès, la possibilité de suivre les données issues des traitements en temps réel, ainsi que les décisions prises suite aux résultats du diagnostic.

De plus, les alertes et les notifications générées par le système, dans le cas d'un dépassement d'un seuil prédéfini, sont également affichées sur cette application et renvoyées vers les tablettes ou les smartphones mis à la disposition du personnel. La Figure suivante montre une capture d'écran de cette interface.

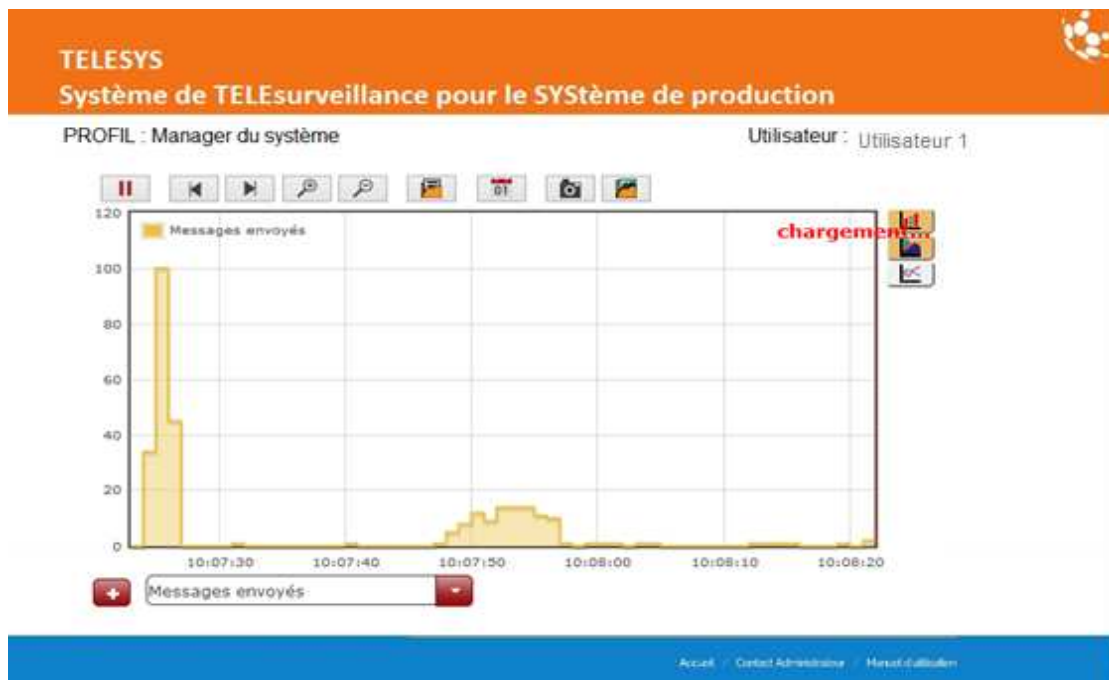


Figure 5.14 : Interface temps réel.

5.7.2. Application Web

Cette interface est accessible par Internet. Elle permet aux utilisateurs du système de consulter les données recueillies sur le système de production sous un format adéquat. La Figure ci-dessous illustre l'interface, telle que nous venons de la définir. Le menu permet, pour des examens plus approfondis, d'accéder à des données cumulées et prétraitées sous forme de graphiques et de courbes de tendance.

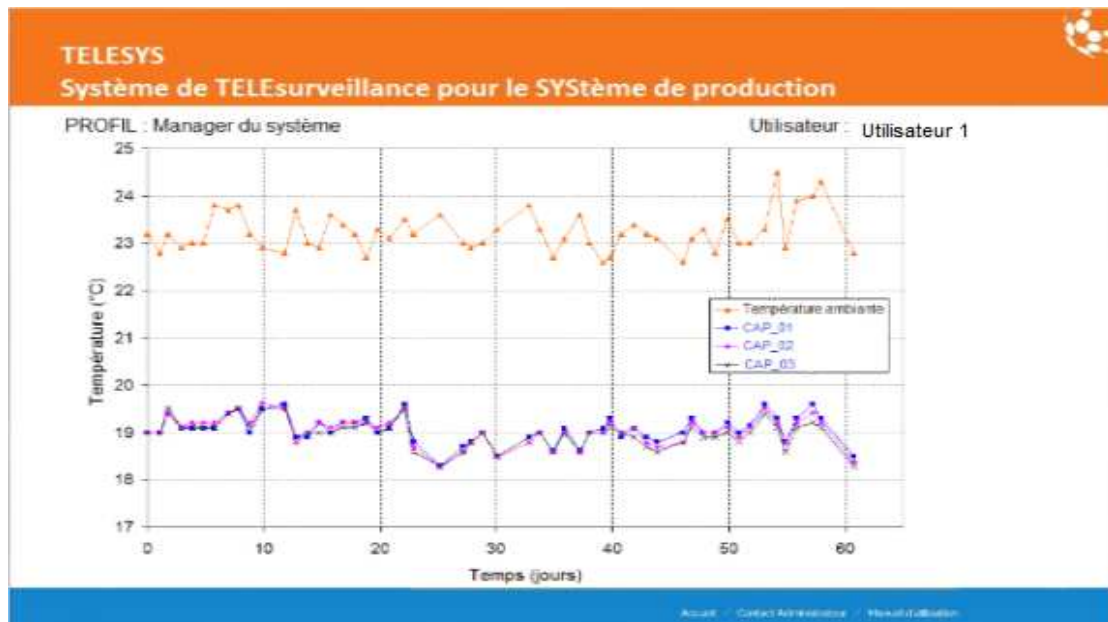


Figure 5.15 : Interface Web.

5.8. Interfaces de l'application TELESYS

5.8.1. Interfaces d'authentification et de gestion d'utilisateurs

L'application doit permettre à chaque utilisateur de s'identifier selon sa catégorie dans l'espace utilisateur pour avoir l'accès à l'interface qui lui correspond dans la plateforme TELESYS. Ainsi, selon le profil de l'utilisateur, les fonctionnalités seront différentes : Exploitant, Opérateur de maintenance, Responsable service maintenance, Manager système et Staff technique.



Figure 5.16 : Interface d'authentification.

Après l'identification de l'utilisateur, il doit par la suite avoir une interface graphique relative à sa contribution et à son rôle dans le système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

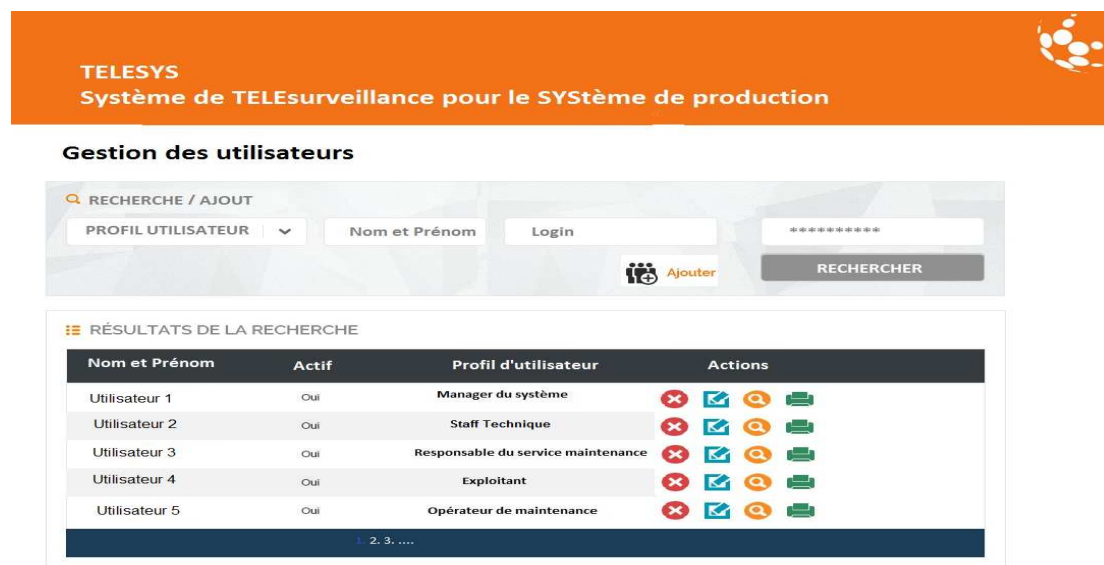


Figure 5.17 : Interface gestion d'utilisateurs.

5.8.2. Interface Manager du système de télésurveillance

Le module de travail du manager du système comporte plusieurs boutons, chaque bouton contient un ensemble d'outils pour la gestion et l'administration du système de télésurveillance.



Figure 5.18 : Interface relative au manager du système.

5.8.3. Interface Responsable du service de maintenance

L'interface est très similaire à celle du manager du système de télésurveillance, mais avec des options différentes :

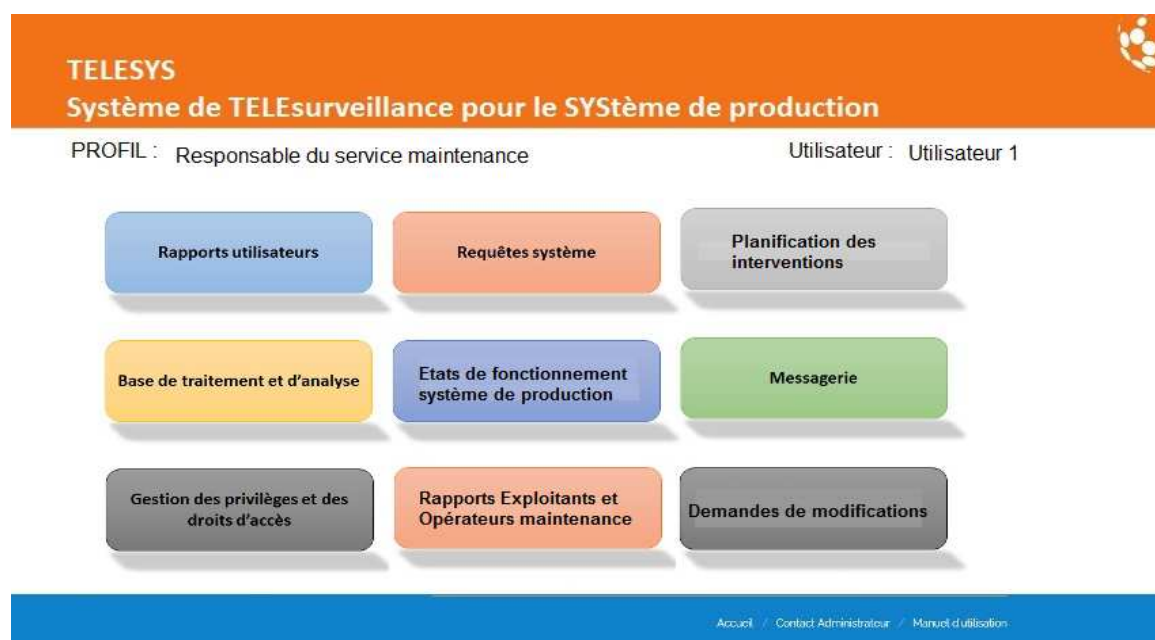


Figure 5.19 : Interface relative au responsable du service de maintenance.

5.8.4. Interface Opérateur de maintenance

L'interface dédiée pour l'usage, à l'opérateur de maintenance contient les modules présentés par la figure suivante :



Figure 5.20 : Interface relative à l'opérateur de maintenance.

5.8.5. Interface Exploitant

La principale vocation de l'exploitant consiste à recevoir les notifications du responsable de service de maintenance afin d'agir sur les actionneurs. Ainsi l'interface dédiée à celui-ci se présente selon la figure suivante :



Figure 5.21 : Interface relative à l'exploitant.

5.9. Conclusion

Tout au long de ce chapitre, nous avons exposé les différents besoins auxquels doit répondre l'application TELESYS que nous avons développée, notre modélisation s'est basée sur le langage UML. Ce langage de modélisation nous a permis d'établir les différents diagrammes nécessaires pour le développement de l'application à savoir : le diagramme de contexte, le diagramme de packages, le diagramme de cas d'utilisation, ainsi que le diagramme de séquence.

En effet, nous avons, dans un premier temps, défini les acteurs de notre système avec leurs différents profils, ensuite nous avons décrit l'architecture matérielle et logicielle de ce système, selon une approche fonctionnelle tout en tenant compte des résultats de l'analyse fonctionnelle du troisième chapitre. L'architecture système de notre application, comprend un serveur central qui collecte toutes les données issues des capteurs intelligents. Ce serveur central est caractérisé par une autre tâche qui consiste à créer et actualiser d'une manière permanente une base de données historique.

Finalement nous avons développé une application informatique nommée TELESYS avec des interfaces ergonomiques. La vocation majeure de celle-ci est et de gérer le système de télésurveillance pour le système de production. De plus, l'application développée a comme fonctions principales l'administration, le pilotage, ainsi que la description des composants du système de télésurveillance d'un système de production à base de capteurs intelligents. De même, cette application doit avoir la capacité d'être multi support. De ce fait, nous avons donné à l'utilisateur le choix entre une application mobile et une application web.

Conclusions et Perspectives

I. Conclusions

La vocation majeure de nos travaux de recherche, traduite par ce manuscrit a été particulièrement centrée autour du diagnostic et la définition d'un état des lieux relatif à l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents dans les entreprises marocaines. En effet, la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents est une tâche délicate dans n'importe quel secteur industriel. L'objectif de l'étude menée auprès des industriels est d'établir des points de repères et d'appréhender les verrous scientifiques qui sont considérés comme des entraves pour la mise en œuvre de ce système.

Ce diagnostic a été précédé par une phase d'analyse fonctionnelle d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. En effet, l'analyse fonctionnelle est un outil générique d'aide à la conception d'un système de télésurveillance, dans la mesure où elle permet de synthétiser les besoins et les exigences fonctionnelles auxquels répond un tel système. Dans ce sens, cette analyse permet de cerner au mieux ses caractéristiques, pour pouvoir dégager les besoins techniques et matériels nécessaires pour la conception de tel système.

D'autre part, nous avons proposé une démarche générique pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. En fait, une analyse des résultats de l'enquête a permis de définir les besoins exprimés par les industriels, notamment la nécessité d'une démarche globale pour la mise en œuvre d'un projet de système de télésurveillance pour le système de production à base de capteurs intelligents.

Cette démarche consiste à définir les différentes étapes, et à élaborer les procédures qui s'y rattachent pour l'accomplissement et la réussite d'un tel projet. D'une part, cette étude, a permis de mettre l'accent sur l'ensemble des verrous et des carences qui peuvent nuire à l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, au niveau des entreprises industrielles marocaines. D'autre part cette étude a contribué à l'évaluation des bénéfices, en termes d'apports techniques et économiques, en intégrant un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour le système de production. Cette étude présente un intérêt majeur, que ce soit pour les industriels marocains ou pour les prestataires du domaine.

La mise en œuvre d'un système de télésurveillance pour un système de production à base de capteurs intelligents est facilitée à l'heure actuelle par l'essor des technologies de l'information et de la communication et la démocratisation des capteurs intelligents. Cependant, la mise en œuvre d'un tel système requiert une attention particulière à la conception. En effet celle-ci est exigeante sur plusieurs plans. Ceci induit notre contribution au niveau de ce travail de recherche par un autre objectif tout aussi intéressant, et qui concerne notre contribution pour la conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents avec son système d'informations selon une approche fonctionnelle, tout en tenant compte de la chaîne de télésurveillance, à savoir : le système de production, le réseau de capteurs, l'entrepôt des données, les sources complémentaires de données, ainsi que le système de communication, de messagerie et d'interfaçage. Après avoir défini, selon une description fonctionnelle, l'architecture matérielle et logicielle mises en œuvre pour répondre aux spécifications établies dans la phase de l'analyse fonctionnelle, nous avons utilisé le langage UML comme outil de modélisation du système d'information. Cette phase a été soldée par le développement d'une application informatique nommée TELESYS dont les fonctions principales sont : la gestion, l'administration, le pilotage, ainsi que la description des composants du système de télésurveillance d'un système de production à base de capteurs intelligents.

II. Perspectives

Les perspectives liées à ce travail de recherche, à court terme, concernent la validation de la démarche générique pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents. Cette validation passe par la mise en place de la démarche au sein de bon nombres d'entreprises marocaines, ce qui permettra la finalisation de la démarche proposée. En effet, la généralité de la méthode proposée doit permettre de l'appliquer à différentes structures d'entreprises industrielles d'une part, et à différents secteurs d'activités d'autre part.

Ce qui induit une nouvelle perspective qui concerne le diagnostic de l'intégration d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents par secteur d'activités. Cette perspective permettra de dégager les verrous réels relatifs à chaque secteur d'activités, et par conséquent constituer une base de données de retour d'expérience significative pour les industriels et les prestataires.

En ce qui concerne la perspective relative à l'application TELESYS, l'idéal serait de l'installer pour un cas industriel, qui présente un environnement réel de télésurveillance, afin d'établir les limitations et proposer les améliorations nécessaires.

Ensuite, à plus long terme, plusieurs axes de recherche sont envisageables, et qui se traduisent principalement par ce qui suit :

- La complexité d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents impose une collaboration entre les différents acteurs du système, ce qui induit une nécessité de la gestion de la collaboration dans le cadre d'un système de télésurveillance.
- L'utilisation de réseau de capteurs intelligents pour la télésurveillance ouvre le chemin à une extension vers les autres systèmes et composants de l'entreprise industrielle, nous nous trouverons face à des objets physiques, qui ont une identification numérique grâce à un système de communication sans fil et qui sont capables de communiquer les uns avec les autres : c'est le concept de l'internet des objets. Ainsi de nouvelles opportunités pour la maintenance prévisionnelle seront envisageables. Dans la continuité du diagnostic réalisé, il sera judicieux d'établir un diagnostic préliminaire au niveau des entreprises marocaines pour ce nouveau concept.

- Une autre perspective à long terme pourrait concerner l'intégration du système de télésurveillance avec d'autres systèmes existants, tels qu'un système de GMAO ou un système de GPAO.

Bibliographie

- [1]: O. Gélinaer., F-X. Simon., J-P. Billard. Développement durable : pour une entreprise compétitive et responsable, *Collection essais de la CEGOS, ESF édition*, Paris, 2002.
- [2]: [http://cop22.ma/dossier de presse](http://cop22.ma/dossier%20de%20presse).
- [3]: C. Tahon., Evaluation des performances des systèmes de production. *Hermès*, Paris, 2003.
- [4]: A. Muller ., Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic., Thèse de doctorat Université Henri Poincaré, Nancy 1, juin 2005.
- [5]: Agence Internationale de l'énergie, Energy Policies of IEA Countries, *OCDE*, Paris, France, 2000.
- [6]: P. Brabazon., H. Conlin., Assessing the safety of staffing arrangements for process operations in the chemical and allied industries., Entec UK Ltd, London, 2001.
- [7]: D. Racoceanu., Contribution à la surveillance des Systèmes de Production en utilisant les Techniques de l'Intelligence Artificielle, Rapport de recherche, 2007.
- [8]: Y. Peng., Abductive Inference Models For Diagnostic Problem-Solving, *Springer-Verlag*, New York, 1990.
- [9]: I. Khelef., Diagnostic des machines tournantes par les techniques de l'intelligence artificielle, Thèse de doctorat, Université Badj Mokhtar, Annaba, 2013.
- [10]: S. Dash., V. Venkatasubramanian., Challenges in the industrial applications of fault diagnostic systems., *Proceedings of the Conference on Process Systems Engineering Computing & Chemical Engineering*, Keystone, Colorado, pp. 785-791, 2000.
- [11]: A. Debiolles., Diagnostic de systèmes complexes à base de modèle interne, reconnaissance de formes et fusion d'informations : Application au diagnostic des circuits de voies ferroviaires., Thèse de doctorat., Université de technologie de Compiègne, Février 2007.
- [12]: P-M. Frank., Fault Diagnosis in Dynamic Systems Using Analytical and Knowledge Based Redundancy., A survey and New Results., *Automatica*, Vol. 26, pp. 459-474. 1990.
- [13]: B. Dubuisson ., E. Boutleux ., P. Dague., T. Denoeux., E. Didelet, Y. Gandval., M. Masson ., Diagnostic, Intelligence Artificielle et reconnaissance de formes., *Hermès*, 2001.
- [14]: R. Zemmouri., 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, 28 Novembre 2003.
- [15]: M. Baseville., M. Cordier., Surveillance et diagnostic de systèmes dynamiques : approche complémentaire du traitement de signal et de l'intelligence Artificielle., *Rapport INRIA*, No 2861, 1996.

-
- [16]: I. Khelef., Amélioration du diagnostic d'une machine tournante par la sélection du vecteur d'entrée ., *20^{ème} Congrès Français de Mécanique.*, Besançon, 29 Août au 2 Septembre 2011.
- [17]: T. Denoeux., M. Masson., B. Dubuisson., Advanced pattern recognition techniques for system monitoring and diagnosis : a survey, *Journal Européen des Systèmes Automatisés.*, pp.1509-1539, 1998.
- [18]: M. Weinfledi., Réseaux de neurones. *Techniques de l'ingénieur.*, Traité informatique H1990, 1990.
- [19]: C. Breneur., Eléments de maintenance préventive de machines tournantes dans le cas de défauts combinées d'engrenages et de roulements. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des sciences pour l'ingénieur de Lyon, 12 Décembre, 2002.
- [20]: G. Zwingelstein., Diagnostic des défaillances : Théorie et pratique pour les systèmes industriels., *Hermès*, 1995.
- [21]: http://fr.wikipedia.org/wiki/Système_expert.
- [22]: F.Soyez.,<http://www.cnetfrance.fr/news/indect-le-projet-de-surveillance-intelligente-europeen-39789260.htm>
- [23]: <http://www.cnetfrance.fr/news/usa-bientot-la-videosurveillance-intelligente-sans-humains-39796945.htm>
- [24]: J. Biswas., Jayachandran M., Shue L, Xiao W., Yap P., « An extensible system for sleep activity pattern monitoring », in Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information., 3rd International Conference on ISSNIP, pp. 561–565, 2007.
- [25]: <http://www.linkcareservices.com/index.html>
- [26]: I. Manssouri., Y. Chetouani., B. El Kihel., Using neural networks for fault detection in a distillation column., *International Journal of Computer Applications in Technology.*, Vol. 32, No 3, pp.181-186, 2008.
- [27]: J-D. Wu., C-H. Liu., An expert system for fault diagnosis in internal combustion engines using wavelet packet transform and neural network., *Expert Systems with Applications.*, 2008.
- [28]: Z. Mamar., P. Chainais., A. Aussem., Diagnostic de l'usure des galets du système de guidage d'un tramway sur pneumatiques., *Journées d'Etudes Reconnaissance des Formes : Quelles méthodes pour quelles applications.*, ENSTA Paris, France, 2006.
- [29]: C. Emmanouilidis., E. Jantunen., J.MacIntyre., Flexible software for condition monitoring, incorporating novelty detection and diagnostics. *Computers in Industry.*, Volume 57, Issue 6, pp. 516-527, 2006.
- [30]: K. N'Guessan., Méthodes et outils d'aide au diagnostic et à la maintenance des tableaux électriques généraux par le suivi des grandeurs physiques caractéristiques et de leur fonctionnement., Thèse de doctorat., Institut national polytechnique de Grenoble, 7 Décembre 2007.
- [31]: M. Nouvellon., A. Billet., L. Guise., J-C. Ianeselli., Système de surveillance embarqué sur un disjoncteur MT., *Schneider Electric Industries SAS.*, France, 2003.
- [32]: F. Cau., A. Fanni., A. Montisci., P. Testoni., M. Usai., A signal-processing tool for non-destructive testing of inaccessible pipes., *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 19, Issue 7, pp. 753-760, 2006.
- [33]: M. Djaouda., R. Ziani., A. Felkaoui., R. Zegadi., Diagnostic des défauts par un couplage réseaux de neurones artificiels-algorithmes génétiques., pp. 1-7, 2007.

-
- [34]: S. Diof., Contribution au diagnostic industriel de défauts de roulement et de balourd par techniques neuronales : Application à la machine asynchrone à cage., Thèse de doctorat., Université de Paris XII Val de Marne, 10 Juillet 2007.
- [35]: S. Fedala., A. Felkaoui., R. Zegadi., R. Ziani., Optimisation des paramètres du vecteur formé : application au diagnostic vibratoire automatisé des défauts d'une boîte de vitesse d'un hélicoptère., *Revue de Matériaux Techniques*, 19 Juin, 2009.
- [36]: P. Maslo. Sondes de choc, 2006.
- [37]: J. E. Brignell., The future of intelligent sensors: A problem of technology or ethics?., *Sensors and Actuators Physical*, Vol. 56, pp. 11-15, 1996.
- [38]: H. Schodel., Utilization of Fuzzy Techniques in Intelligent Sensors., *Fuzzy Sets And Systems*., Vol. 63, pp. 271-292, 1994.
- [39]: AFNOR, NF EN 60770-3 Transmetteurs utilisés dans les systèmes de conduite des processus industriels - Partie 3 : Méthodes pour l'évaluation des performances des transmetteurs intelligents. Norme AFNOR, 2006.
- [40]: A. Loureiro., L. Ruiz., Autonomic Wireless Networks in Smart Environment., *IEEE, Communication Network and Services research*, 2007.
- [41]: D. Culler., D. Estrin and M. Srivastava. Guest editors 'introduction: Overview of sensor networks., *Computer*, 2004.
- [42]: F. Michaut., F. Lepage., Application oriented network metrology. Metrics and active measurement tools. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2005.
- [43]: V. Rajaravivama., Y. Yang., T. Yang., An overview of wireless sensor network and applications., *Proceeding of the 35th IEEE Southeastern Symposium on System Theory*, 2003.
- [44]: M. Hanson., H. Powell Jr, A. Barth, K. Ringgenberg, B-H. Calhoun, J-H. Aylor, and J. Lach, "Body Area Sensor Networks: Challenges and Opportunities," *IEEE Computer*, 2009.
- [45]: M. Pasha., S. Derrien., O. Sentieys., A complete design-flow for the generation of ultra lowpower WSN node architectures based on micro-tasking., *Design Automation Conference (DAC), 47th ACM/IEEE.*, pp. 693 – 698, 2010.
- [46]: Z. Zhang., F Wu and X Chen., Design of WSN node based on CC2431 applicable to lunar surface environment, *Robotics and Biomimetics.*, *IEEE International Conference.*, pp. 1087 – 1092, 2008.
- [47]: <http://www.sciencepost.fr/2016/09/darpa-travaille-armes-de-guerre-futur/>.
- [48]: Q. Wang., W. Yang., Energy consumption model for power management in Wireless sensor Networks., *4th Annual IEEE Communications society conference on sensor., Mesh and Ad Hoc Communications and Networks.*, 2007.
- [49]: K. Holger., A. Willig., Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks., *John Wiley & Sons*, 2005.
- [50]: M. Ramadany., D. Amegouz., Mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production, *Congrès Production Intégrée*, Tanger, Décembre 2015.
- [51]: A. Chafik., Architecture de réseau de capteurs pour la surveillance de grands systèmes physiques à mobilité cyclique., Thèse de doctorat., Université de Lorraine, 2014.
- [52]: N. Nasreddine., Conception et modélisation d'un émulateur de réseaux de capteurs sans fil., Thèse de doctorat., INSA de Toulouse, 2012.
-

-
- [53]: I. Akyildiz., W.Su., Y. Sankarasubramaniam., E. Cayirci., Wireless sensor networks: a survey., *Computer Networks.*, Vol. 38, 2002.
- [54]: C. Duran-Faundez., Transmission d'images sur les réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l'énergie., Thèse de doctorat., Université Henri Poincaré, Nancy 1, 23 Juin 2009.
- [55]: Captiven., note de veille Réseaux de capteurs, 2013.
- [56]: J. Liu., B. Li., Distributed topology control in Wireless Sensor Networks with asymmetric links., *Proceedings of IEEE Globecom.*, San Francisco, Etas unis , 2003
- [57]: V. Le cam., C. Nguyen., W. Guillemaud., A. Fleury., Applications des réseaux de capteurs intelligents et de la communication sans fil à l'instrumentation des structures de génie civil., *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 2008.
- [58]: Y. Zatout., Conception et évaluation de performances d'un réseau de capteurs sans fil hétérogène pour une application domotique., Thèse de Doctorat., Université Toulouse le Miral, 2011.
- [59]: J. Champ., V. Boudet., Accurate Distributed Node Localisation Algorithm in Wireless Sensor Networks., *European Wireless*, Italie, 2010.
- [60]: A. Hakiri., P. Berthou., J. Henaut., T. Gayrand., Performance Evaluation of wireless Sensor Network for Spacial and Aeronautic Systems, *International Conference on Telecommunications.*, 2010.
- [61]: A. Sheretha., L. Xing., A Performance Comparaison of different Topologies for Wireless Sensor Networks., *IEEE Confernce on Technologies for Homeland Security*, 2007.
- [62]: A. Randrianarisaina., Modélisation de la consommation d'énergie en vue de la conception conjointe des applications embarquées : Application aux réseaux de capteurs sans fil., Thèse de Doctorat ;, Université de Nantes, 2015.
- [63]: S. Kwangcheol., K. Kyungjun., K. Soonate., Angle based Multi Hop Routing Strategy for Mobile Wireless Sensor Networks., *IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference*, 2011.
- [64]: K. Langendoen., N. Reijers., Distributed Localisation in wireless sensor networks: a quantitative comparaison., *Copmptur Networks*, 2003.
- [65]: H. Cui., C. Feng., X. Huang., Y. Liu., Prolonging Network Lifetime in Two-level Heterogeneous Wireless Sensor Networks., *International Symposium on Communications and Information Technologies*, 2012.
- [66]: R. Enam., S. Misbahuddin., and M. Imam., Energy Efficient Round Rotation Method for a Random Cluster Based WSN., *International Conference on Collaboration Technologies and Systems*, 2012.
- [67]: J. Kim., S. Choi., S. Han. Alternative Cluster Head Selection Protocol for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks. Software Technologies for Future Dependable Distributed Systems, 2009.
- [68]: K. Sohrawy., D. Minoli., T. Znatni., Wireless Sensor Networks Technology. Protocols and Applications., *John Wiley & Sons*, 2007.
- [69]: H. Hassanein., J. Luo., Reliable Energy Aware Routing In Wireless Sensor Networks., *Second IEEE Workshop Dependability and Security in sensor Networks and Systems.*, 2007.
- [70]: F. Lewis., Wireless Sensor Networks in smart environments: Technologies, Protocols and Applications., University of Texas John Wiley, New York, 2004.
-

-
- [71]: P. Johansson., M. Kazantzidis., R. Kapoor., M. Gerla., Bluetooth an enabler for personal area networking., *IEEE Network*, 2001.
- [72]: C. Law., A. Metha., K. Siu., A new Bluetooth Scatternet Formation Protocol., *Mobile Network and Applications*, 2003.
- [73]: W. Song., Y Wang., C. Ren., X. Li., Multi-hop Scatternet Formation and Routing For Large Scale Bluetooth Networks., *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 2009.
- [74]: <http://www.cnetfrance.fr/produits/le-wibree-petit-frere-econome-du-bluetooth>.
- [75]: B. Allen., T. Brown., K. Schweiger., I. Oppermann., Ultra-Wideband: Applications, Technology and Future Perspectives., *International Workshop on Convergent Technologies*, 2005.
- [76]: B. Hoermann Leander B., Glatz Philip M., Steger Christian, Weiss Reinhold, Energy Efficient Supply of WSN Nodes using Component-Aware Dynamic Voltage Scaling Wireless Sustainable Wireless Technologies., *11th European Conference Wireless.*, , pp. 1 – 8, 2011.
- [77]: I. Hammodi., B. Stewart., A. Kocian., S. McMeekin. A Comprehensive Performance Study of OPNET Modeler for ZigBee Wireless Sensor Networks., *3rd International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, 2009.
- [78]: H. Unterassinger., M. Dielacher., J. Prainsack and W. Pribyl. A power Management Unit for Ultra-Power Wireless Sensor Networks., *IEEE Africon.*, 2011.
- [79]: <http://www.domotique-info.fr/technologies-domotique/zigbee/>
- [80]: http://www.frandroid.com/comment-faire/241426_les-differentes-normes-wi-fi-802-11abgnac-quelles-differences-pratiques.
- [81]: <https://sourceforge.net/projects/one-net/>
- [82]: <https://en.wikipedia.org/wiki/One-Net>
- [83]: http://tutoriels.domotique-store.fr/content/1/21/fr/z_wave-fonctionnement-et-avantages-sur-les-autres-protocoles-domotiques.html
- [84]: <https://www.zodianet.com/zwave/zwave-about.html>
- [85]: <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/embedded-wireless/802-15-4/miwi-protocol>
- [86]: <http://www.scoop.it/t/mes-infos-habitat-domotique/p/4000252630/2013/04/19/le-protocole-miwi-de-microchip>
- [87]: A. Arora., P. Dutta., S. Bapat., V. Kulathumani., A line in the sand: A Wireless sensor network for target detection, classification, and tracking., *IEEE Computer Networks*, 2005.
- [88]: M. Hussain., P. Khan., WSN research activities for military application., *11th International Conference on Advanced Communication Technology*, 2009.
- [89]: E. Biagioni., K. Bridges., The application of remote sensor technology to assist the recovery of rare and endangered species., *International Journal of High Performance computing Applications*, 2002.
- [90]: D. Doolin., N. Sitar., Wireless sensors for wildfire monitoring., *Proceedings SPIE Symposium on Smart Structures and Materials.*, San Diego, California, 2005.

-
- [91]: A. Mainwaring., J. Polastre., R. Szewczyk., J. Anderson., Wireless sensor networks for habitat monitoring., *ACM International Workshop on Wireless sensor networks and Applications.*, Atlanta, 2002.
- [92]: T. Naumowicz., R. Freeman., A. Heil., J. Schiller., Autonomous monitoring of vulnerable habitats using a wireless sensor network., *Workshop on Real world Wireless sensor Networks.*, Glasgow, Scotland, 2008.
- [93]: Schulz., F. Reichenbach., J. Blumenthal., D. Timmermann., Low cost system for detecting leakages along artificial dikes with wireless sensor networks., *Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks.*, Glasgow, Scotland, 2008.
- [94]: A. Loureiro., L. Ruiz., Autonomic Wireless Networks in smart Environments., *Communication Networks and Services research IEEE*, 2009.
- [95]: G. Werner-Allen., K. Lorincz., O. Marcillo., M. Welsh., Deploying a wireless sensor network on an active volcano., *Internet Computing IEEE*, 2006.
- [96]: A. Azzam., Contribution à la mise en place d'un système multi capteurs pour la surveillance des eaux de surface : fusion de données et aide à la décision., Thèse de Doctorat., Université Henri Poincaré, Nancy, 2005.
- [97]: I. Blindu., Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques., Thèse de Doctorat., Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne., Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 2004.
- [98]: G. Guérard., Optimisation de la diffusion de l'énergie dans les Smart Grids., Thèse de Doctorat, Université de Versailles, 2014.
- [99]: H. Xiaoya., W. Bingwen., A novel Energy-Balanced Time Synchronization Protocol in Wireless Sensor Networks for Bridge Structure Health Monitoring., *2nd International Workshop on Database Tachnology and applications*, 2009.
- [100]: N. Jianjun., D. Zhidong., Z. Fengguang., C. Zongsheng., A structural Health Monitoring System Using Wireless sensor Network., *5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2009.
- [101]: L. Xuefeng., C. Jiannong., L. Yang., A multi scale strategy in wireless sensor networks for structural health monitoring., *5th International Conference on intelligents sensors, Sensor Networks and Information Processing*, 2009.
- [102]: S. Wijetungs., U. Gunawardana., R. Liyanapathirna., Wireless Sensor Networks for Structural Health Monitoring: Considérations for communication protocol design, *IEEE., 17th International Conference on telecommunications*, 2010.
- [103]: N. Pie., J. Zihua., Requirements, challenges and opportunities of wireless sensor networks in structural health monitoring., *3rd International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology*, 2010.
- [104]: C. Herring., S. Kaplan., Component based software systems for smart environments., *IEEE.*, 2000.
- [105]: Krishnamurthy., R. Adler ., P. Buonanadonna., M. Yarvis., Design and deployment of industrial sensor networks: Experiences from a semiconductor plant and the North Sea., *3rd International Conference on embedded networked sensor systems*, 2005.
- [106]: L. Nachman., R. Kiling., R. Adler., V. Hummel., The Intel mote platform: a based sensor network for industrial monitoring., *4th international Symposium on information processing in sensor networks*, 2005.
- [107]: Ramamurthy., B Prabhu., G. Rajit., M. Asad., Smart sensor platform for industrial monitoring and control., *4th IEEE SENSORS*, Irvine, California, 2005.

-
- [108]: N. Salles., N. Krommenacker., V. Lecuire. Performance study of IEEE 802.15.4 for industrial maintenance applications., *IEEE International Conference on Industrial Technology*, Chengdu, China, 2008.
- [109]: A. Willig., M. Kubish., C. Hoene., A. Wolisz., Measurements of a wireless link in an industrial environment using an IEEE 802.11 compliant physical layer., *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2002.
- [110]: D. Christin., P. Mogre., M. Hollick., Survey on wireless sensor network technologies for industrial automation: The security and quality of service perspectives future Internet, 2010.
- [111]: B. Lu., V. Gungor., Online and remote motor energy monitoring and fault diagnostics using wireless sensor networks., *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2009.
- [112]: A. Lima-Filho., R. Gomes., M. Adissi., M. Spohn., Embedded system integrated into a wireless sensor network for online dynamic torque and efficiency monitoring in induction motors., *Mechatronics IEEE/ASME Transactions*, 2012.
- [113]: K. Tan., S. Huang., Y. Zhang., T. Lee., Distributed fault detection in industrial system based on sensor wireless network., *Computer Standards & Interfaces*, 2009.
- [114]: M. Gauger., D. Minder., A. Wacker., P-J. Marron., Prototyping sensor actuator networks for home automation., *Workshop on Real World Wireless Sensor Networks*, Glasgow, Scotland, 2008.
- [115]: P. Chahua., Contrôle intelligent de la domotique à partir d'informations temporelles multisources imprécises et incertaines., Thèse de Doctorat., Université de Grenoble, 2013.
- [116]: V. Dreyankova., Contribution à la commande du trafic auto routier., Thèse de Doctorat., Université Technique de Sofia, Décembre 2013.
- [117]: S. Aubin., Capteurs de position innovants : application aux systèmes de transport intelligents dans le cadre d'un observatoire de trajectoires de véhicules., Thèse de Doctorat., Institut National Polytechnique de Toulouse, 2009.
- [118]: S. Faye., Contrôle et gestion du trafic routier urbain par un réseau de capteurs sans fil., Thèse de Doctorat., Institut des sciences et technologies, 2014.
- [119]: K. Chintalapudi., T. Fu., J. Paek., S. Masri., Monitoring civil structures with a wireless sensor network., *Internet Computing, IEEE.*, 2006.
- [120]: N. Dessart., H. Fouchal., P. Hunel., C. Rabat. Simulation of large scale WSN for medical care., *IEEE, Symposium of Computers and Communications.*, 2010.
- [121]: E. Lawrence., K. Navarro., and Y. Lim. Data collection: Correlation and dissemination of Medical Sensor Information in a WSN., *5th International Conference on Networking and Services*, 2009.
- [122]: P. Salvador., A. Nogueira., R. Valadas., Markovian Models for Medical Signals on Wireless Sensor Networks., *IEEE International Conference on Communications Workshops*, 2009.
- [123]: G. Messier., I. Finvers., Traffic models for medical wireless sensor networks., *Communications Letters, IEEE*, 2009.
- [124]: H. Furtado., R. Trobec., Applications of wireless sensors in medicine, MIPRO, *Proceeding of the 34th International Convention.*, 2011.
- [125]: R. Mehmet., C. Peng., J. Khan., Monitoring of Physiological Parameters from Multiple Patients Using Wireless Sensor Network. *Journal of Medical Systems.*, Vol. 32, No 5, 2008.

-
- [126]: P. Pandian., K. Safeer., D. Shakunthala., V. Padaki., Wireless sensor network for wearable physiological monitoring., *Journal of networks*, 2008.
- [127]: Z. Xinorong., C. Bo., Resarch of temperature and humidity monitoring system based on WSN and fuzzy control, *International Conference on Electronics and optoelectronics*, 2011.
- [128]: C. Garzon., O. Riveros., Temperature, humidity and luminescence monitoring system using Wireless Sensor Networks in flowers growing., ANDESCON, 2010.
- [129]: J. McCulloh., M. Siddeswara., D. Hugo, Wireless sensor network deployment for water use efficiency in irrigation., *Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks.*, Glasgow, Scotland, 2008.
- [130]: [http : //www.usine-digitale.fr](http://www.usine-digitale.fr) ., Article., les Big data ouvrent l'ère de l'aéronautique de service, 2015.
- [131]: [http : //www.ilovemybi.com](http://www.ilovemybi.com)., Article., Big data chez Rolls Royce., Article., le succès de la maintenance prédictive, 2015.
- [132]: [http : //www.usine-digitale.fr](http://www.usine-digitale.fr) ., Article., Air France KLM anticipe les pannes de ses avions A380 au Big data », 2015.
- [133]: Michelin Solutions., Communiqué de presse, 13 Juillet 2013.
- [134]: [http : //www.alliancy.fr](http://www.alliancy.fr), Article., Quand l'industrie explore le Bigdata., Alliancy, le mag, 2015.
- [135]: <http://www.silicon.fr/iot>., Article., Colas-rail-prend-le-train-Lora-de-Bouygues telecom.html, 2015.
- [136]: <http://www.quinten-france.com/success-stories>, 2015.
- [137]: <http://on.wonderware.fr/usine-4.0-donn%C3%A9es-contextualis%C3%A9es-big-data-industriel>, 2015.
- [138]: [http : //www.intel.fr](http://www.intel.fr), Article., La F1 sur la voie rapide des nouvelles technologies, 2015.
- [139]: [http : //ideas.microsoft.fr](http://ideas.microsoft.fr), intelligence des données., Article., Trouver des leviers de compétitivité grâce aux systèmes intelligents, 17 Décembre 2014
- [140]: D. Baglee., Diagnostic à distance de l'huile de lubrification marine à l'aide de systèmes de capteurs intelligents., *Magazine of Marine Maintenance Technology International*, Octobre 2014.
- [141]: AFNOR., Maintenance industrielle., Fonction Maintenance., *FD X 60-000*, Mai 2002.
- [142]: M. Ramadany., D. Amegouz, Contribution à la conception d'un système de télésurveillance pour un système de production, *Congrès International du Génie Industriel et Management des Systèmes*, Fès, Mai 2015.
- [143]: M. Ramadany ., D. Amegouz., Mise en œuvre d'un système de télésurveillance pour un système de production à base de capteurs intelligents., *Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées.*, Tanger, Maroc, Déc 2015.
- [144]: J. Gagnière., J.R. Macé, Capteurs intelligents : enjeux et perspectives., R465., *Techniques de l'ingénieur*, 10 Mars 2015.
- [145]: M. Ramadany., D. Amegouz., Diagnosis of the integration remote monitoring system based on smart sensors for a production system: a case study., *International Review of Automatic Control (I.R.E.A.CO.)*., Index SCOPUS, Vol. 10, No 2. March 2017.

-
- [146]: S. Charbonnier, J.P. Siché., J.M. Mallion., Toward a portable blood pressure recorder device equipped with accelerometers., *Medical Engineering and Physics.*, Vol. 21, pp. 343-352, 1999.
- [147]: S. Gatepaille et S. Brunessaux., Dossier I.A. et Fusion de données., *Bulletin de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA).*, Vol. 24, pp. 21–30, Janvier 1996.
- [148]: I. Bloch., Fusion d'informations en traitement du signal et des images., *Editions Hermès Science.*, Paris, France, pp. 318, Janvier 2003.
- [149]: M. Geffroy., R. El Amrani., F. Rowe., Intégration du système d'information et transversalité. Comparaison des approches des PME et des grandes entreprises. *Sciences de la société*, N° 61, Février 2014.
- [150]: B. Dakkak., Y. Chater., A. Talbi., Diagnostic du Système de Management Intégré Qualité., Sécurité et Environnement des PME/PMI Marocaines *QUALITA2013.*, Compiègne, France, Mars 2013.
- [151]: Manuel du Logiciel Sphinx plus2 V5., Repère méthodologique pour logiciel Sphinx plus2., V5, 2009.
- [152]: M. Chavent., A monothetic clustering method., *Pattern Recognition Letters.*, Vol. 19, pp. 989–996, 1998.
- [153]: Conservatoire National des Arts et Métiers., *Support de cours d'Ergonomie*, Paris, [http : //www.cnam.fr/ergonomie/](http://www.cnam.fr/ergonomie/).
- [154]: R. Rajkumar, I. Lee, L. Sha., J. Stankovic, “Cyber-physical systems: The next computing revolution., *Proceedings of the 47th Design Automation Conference, DAC10*, 2010.
- [155]: L. Atzori, A. Iera., G. Morabito., The internet of things: A survey., *Computer Networks*, Vol. 54, No 15, 2010.
- [156]: K. Doughty, R. Isak, P.J. King, P. Smith, G. Williams., MIDAS., Miniature Intelligent Domiciliary Alarm System: a practical application of telecare., *Proceeding of the 1st Joint BMES/EMBS Conference Serving Humanity, Advancing Technology.*, Atlanta, USA, pp. 691, 1999.
- [157]: B. Bonneau., Mise en place d'une plateforme de test et d'expérimentation Master Technologie de l'Internet, 2006.
- [158]: V. Le Cam., C-N., Van Phu, W. Gillemaud., L. Lemarchan., Application des réseaux de capteurs intelligents et de la communication sans fil à l'instrumentation des structures de génie civil., Université de Paris-Est., LCPC., MI., Paris, France, Avril 2009.
- [159]: F. Brissaud., D. Charpentier., Capteurs intelligents : Nouvelles technologies et nouvelles problématiques pour la sureté de fonctionnement. *16^{ème} congrès de Maitrise des Risques et de sûreté de fonctionnement.*, Avignon, Octobre 2008.
- [160]: Ramadany M., Amegouz D. (2015b). Mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production, *International Journal of Innovation and Applied Studies.*, Vol. 13 No 3, Novembre 2015.
- [161]: <http://www.uml-sysml.org/uml,SysML> France., Introduction UML SysML, 2014.
- [162]: P. Roque., Les cahiers de programmeur UML., *Edition Eyrolles*, 2001.

Annexes

I. Travaux scientifiques réalisés

I.1. Articles publiés dans les revues internationales

- **Article 1 :** M. Ramadany., D. Amegouz., Mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production, *International Journal of Innovation and Applied Studies.*, (IJIAS), Vol.13, No 3, November 2015.
- **Article 2:** M. Ramadany., D. Amegouz., Diagnosis of the integration remote monitoring system based on smart sensors for a production system: a case study. *International Review of Automatic Control (I.R.E.A.CO.) Index SCOPUS.*, Vol. 10, No 2 , March 2017.

I.2. Communications publiées dans les congrès internationaux

- **Communication 1 :** M. Ramadany., D. Amegouz., Contribution à la conception d'un système de télésurveillance pour un système de production, *Congrès International du Génie Industriel et Management des Systèmes*, Fès, Mai 2015.
- **Communication 2 :** M. Ramadany., D. Amegouz., Proposition d'un modèle général pour le partage et l'allocation des ressources humaines et matérielles dans les tâches de la maintenance, *Congrès International du Génie Industriel et Management des Systèmes*, Fès, Mai 2015.
- **Communication 3 :** S. Lamallam., A. Khatory., M. Ramadany., L'introduction des Technologies XML pour la mise en œuvre de la réglementation des atmosphères explosives. *Congrès International du Génie Industriel et Management des Systèmes*, Fès, Mai 2015.
- **Communication 4 :** M. Ramadany., D. Amegouz., état d'art de la surveillance des systèmes de production par les outils de l'intelligence artificielle, *2^{ème} Workshop en Imagerie, Systèmes et Applications.*, Faculté Polydisciplinaire Taza, Octobre 2015.
- **Communication 5 :** M. Ramadany., D. Amegouz., Contribution à la conception d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents, *2^{ème} Workshop en Imagerie, Systèmes et Applications.*, Faculté Polydisciplinaire, Taza, Octobre 2015.
- **Communication 6 :** M. Ramadany., D. Amegouz., Mise en œuvre d'un système de télésurveillance pour un système de production à base de capteurs intelligents, *X^{ème} Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées*, Tanger, Maroc, Décembre 2015.

-
- **Communication 7** : S. Sadiki., **M. Ramadany.**, D. Amegouz., Optimisation des couts de la maintenance : état d'art et étude critique et comparative des modèles., *Journée du Management Opérationnel et de la chaine Logistique.*, JMOCL., Faculté des sciences et techniques., Settat, 23 Février 2016.
 - **Communication 8** : **M. Ramadany.**, D. Amegouz., L'internet des objets au service de la maintenance : nouvelles opportunités et nouvelles problématiques, *10^{ème} Congrès Francophone de Génie des Procédés (CFGFP2016).*, ENSA, Safi, Avril 2016.
 - **Communication 9** : **M. Ramadany.**, D. Amegouz, La sûreté de fonctionnement basée sur l'internet des objets : nouveau concept pour de nouvelles opportunités et nouvelles problématiques, *Workshop Systèmes de Production Industriels : Pilotage, Automatisation et Maintenance Industrielle WSPI*, FST, Fès, 12 Mai 2016.
 - **Communication 10** : S. Lamallam., A. Khatory., **M. Ramadany.**, Proposition d'une méthodologie pour l'évaluation des risques des tâches de la maintenance dans un environnement stressant., *Workshop Systèmes de Production Industriels : Pilotage, Automatisation et Maintenance Industrielle WSPI*, FST, Fès, 12 Mai 2016.

II. Questionnaire de l'enquête

Dans le cadre de mes travaux de recherche qui traitent la mise en œuvre d'un système de télésurveillance pour un système de production, je mène une enquête auprès des entreprises industrielles marocaines qui opèrent dans différents secteurs. Cette enquête constituera un diagnostic de l'état d'intégration d'un système de télésurveillance pour un système de production, notamment les systèmes à base de capteurs intelligents. La finalité de celle-ci est de nous permettre de recueillir des points de repères importants pour l'intégration de tels systèmes dans un contexte industriel marocain, et d'en évaluer les verrous et les contraintes pour la mise en œuvre et le déploiement de ces systèmes.

- Merci de bien vouloir remplir ce questionnaire.

Axe 1 : Identification de l'entreprise	
Votre entreprise est : (Raison social)	Nom: Anonyme: <input type="checkbox"/>
Votre entreprise est dans le secteur :	Privé <input type="checkbox"/> Publique <input type="checkbox"/>
Votre entreprise appartient-elle à un groupe multinational ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Votre secteur d'activité est:	Automobile <input type="checkbox"/> Aéronautique <input type="checkbox"/> Cimenterie <input type="checkbox"/> Industrie Chimique <input type="checkbox"/> Autre (à préciser) :
Dans votre entreprise vous êtes:	Directeur (gérant) <input type="checkbox"/> Cadre supérieur <input type="checkbox"/> Cadre moyen <input type="checkbox"/> Technicien <input type="checkbox"/> Agent de Maitrise <input type="checkbox"/>
Quelle est la taille de votre entreprise ?	< 50 <input type="checkbox"/> [50,100] <input type="checkbox"/> > 100 <input type="checkbox"/>
Votre entreprise dispose-t-elle d'un site Web ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
coordonnées de l'entreprise	Adresse : Ville : Tél : ; Fax : Email :
Axe 2 : Accès à internet, réseau local, et utilisation	
Votre entreprise utilise elle un réseau local concernant les ordinateurs entre eux en interne, avec ou sans fil (LAN, WLAN)?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Votre entreprise a-t-elle un accès à Internet ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Votre entreprise a-t-elle fourni aux personnes qui y travaillent des appareils portables qui permettent une connexion mobile à internet pour un usage professionnel (ordinateurs, tablettes, smartphones...)	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Si oui lesquels : Ordinateurs portables, Tablettes, Smartphones, PDA ? (PDA : (Personal Digital Assistant) : Assistant numérique personnel	

Axe 3 : Données concernant la maintenance au sein de l'entreprise

L'entreprise dispose-t-elle d'un service de maintenance ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Quelle est la forme de la maintenance la plus prédominante au sein de votre entreprise ? (corrective ou préventive)	Corrective <input type="checkbox"/>	Preventive <input type="checkbox"/>
Si c'est corrective est-ce qu'il y a une vision stratégique pour migrer vers la maintenance préventive ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Pensez-vous que le service dispose de moyens techniques et humains pour accompagner cette migration ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Pensez-vous qu'un système de télésurveillance pourrait contribuer à une telle migration ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>

Axe 4 : Connaissances et actions déjà menées dans le cadre de la télésurveillance

Y a-t-il un système de télésurveillance installé dans votre entreprise ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Si oui, quelle est la technologie utilisée pour la télésurveillance dans votre entreprise ?	- surveillance avec des capteurs classiques <input type="checkbox"/>	- surveillance avec des capteurs intelligents <input type="checkbox"/>
	- surveillance hybride (capteurs classiques et intelligents) <input type="checkbox"/>	
Le système de télésurveillance utilisé est généralisé pour toute la ligne production ?	Toutes les machines <input type="checkbox"/>	Machines critiques <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Quelques machines <input type="checkbox"/>	
Est-ce qu'il est facile aux techniciens et aux opérateurs d'accéder au système de télésurveillance utilisé dans votre entreprise ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Connaissez-vous des prestataires pour l'intégration d'un système de télésurveillance pour un système de production ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Avez-vous entendu parler des capteurs intelligents ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Avez-vous un ordre de grandeur sur le retour d'investissement d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
La mise en œuvre d'un système de télésurveillance pour un système de production est considérée comme :	- Bénéfice pour l'entreprise <input type="checkbox"/>	- Source de dépense de plus pour l'entreprise <input type="checkbox"/>
Pensez-vous qu'il y a une nécessité pour intégrer un système de télésurveillance des systèmes de production dans votre entreprise ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Pensez-vous que la mise en œuvre d'un système de télésurveillance a un impact direct sur le développement durable ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>

Axe 5 : Apports techniques d'intégration d'un système de télésurveillance

Evaluation	Faible	Moyen	Fort	Très fort
La télésurveillance permet à l'équipe de maintenance de surveiller facilement le système de production ?	Oui <input type="checkbox"/>			Non <input type="checkbox"/>
Comment jugez-vous l'impact de la télésurveillance sur la traçabilité et l'archivage des données des défaillances du système de production				
Comment jugez-vous l'impact de l'intégration d'un système de télésurveillance sur la fiabilité des équipements ?				
Comment jugez-vous l'impact de l'intégration d'un système de télésurveillance sur la disponibilité ?				
Comment jugez-vous l'impact de l'intégration d'un système de télésurveillance sur la sécurité du personnel ?				
Quel est l'impact de la télésurveillance sur l'augmentation de la durée de vie de votre système de production ?				
Quel est l'impact de la télésurveillance sur les performances de votre système de production ?				
Est-ce que la télésurveillance peut diminuer les tâches de soustraction pour la maintenance de votre système de production ?	Oui <input type="checkbox"/>			Non <input type="checkbox"/>
Quel est l'impact de la télésurveillance sur la qualité du produit ?				
L'utilisation d'un système de télésurveillance a-t-il un impact sur les gestes métiers des opérateurs de maintenance ?				
La télésurveillance contribue-t-elle à l'amélioration de la fonction ergonomique pour les opérateurs de maintenance ?				
A quel niveau la télésurveillance vous aide à la prise de décision ?				

Axe 6 : Utilisation des capteurs intelligents

Quels sont vos critères de choix pour la télésurveillance avec les capteurs intelligents ?	Prix <input type="checkbox"/> Marque <input type="checkbox"/> Autre (à préciser) :			Fiabilité <input type="checkbox"/> Fournisseur <input type="checkbox"/>
Connaissez-vous les standards et les protocoles de communication qui existent pour la communication entre réseaux de capteurs intelligents ?	Oui <input type="checkbox"/>			Non <input type="checkbox"/>
Quel est le degré d'importance de l'information pour le service et l'équipe de la maintenance ?				
Comment jugez-vous la qualité de la télésurveillance à base de réseau de capteurs intelligents ?				

Axe 7 : Aspects économiques d'intégration d'un système de télésurveillance

L'installation d'un système de télésurveillance augmente la consommation d'énergie ?	Oui <input type="checkbox"/>			Non <input type="checkbox"/>
L'évolution de l'interface homme machine permet-elle de réduire le nombre du personnel de maintenance ?	Oui <input type="checkbox"/>			Non <input type="checkbox"/>
Pensez-vous que l'intégration du système de télésurveillance est rentable pour l'entreprise?	Oui <input type="checkbox"/>			Non <input type="checkbox"/>

Axe 8 : Verrous liés à l'intégration d'un système de télésurveillance

Le fait d'être menée d'une tablette représente un fardeau pour vous ou est-il considéré comme une tâche pénible ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Le fait d'être menée en dehors de l'horaire de travail, d'une tablette ou un smartphone pour la télésurveillance représente-il une atteinte à votre vie privée ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Acceptez-vous de mettre des vêtements connectés, bracelets ou gilets ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
considérez-vous que le port de ces vêtements connectés a un caractère invasif pour vous ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Jugez-vous le niveau de compétence du personnel de la maintenance suffisant pour l'intégration de tels systèmes ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Cette technologie nouvelle pourrait-elle engendrer une résistance au changement chez les opérateurs de maintenance ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Votre entreprise pourrait-elle investir pour la formation du personnel à ces nouvelles technologies ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Les obstacles suivants ont-ils limité ou empêché l'utilisation de connexion mobile à internet dans votre entreprise ?		
Problème de connexion au réseau des téléphones mobiles pour accéder à internet	<input type="checkbox"/>	
Coûts importants de l'abonnement ou de l'utilisation d'internet	<input type="checkbox"/>	
Risques au niveau de la sécurité (divulcation, sabotage des données numériques)	<input type="checkbox"/>	
Les obstacles suivants ont-ils limité ou empêché le déploiement du système de télésurveillance ?		
Décision stratégique de l'entreprise	<input type="checkbox"/>	
Obstacle financier	<input type="checkbox"/>	
Obstacles techniques (maîtrise de technologie de capteurs intelligents, entrepôt des données, protocoles de communication....)	<input type="checkbox"/>	
Manque de compétences ou de connaissances pour le personnel actuel	<input type="checkbox"/>	
L'effort de l'entreprise pour trouver de nouveaux profils et compétences	<input type="checkbox"/>	
L'absence d'un standard et d'un cadre juridique pour le système de télésurveillance	<input type="checkbox"/>	
L'absence d'une démarche globale pour l'intégration d'un système de télésurveillance	<input type="checkbox"/>	
L'absence de données concernant la sureté de fonctionnement des capteurs intelligents déployés pour la télésurveillance	<input type="checkbox"/>	
L'incertitude vis-à-vis des données fournies par les capteurs intelligents du système de télésurveillance	<input type="checkbox"/>	
La difficulté de traiter des données hétérogènes issues des capteurs intelligents	<input type="checkbox"/>	
Possibilité de sabotage du réseau de capteurs et cybersécurité (virus et attaques informatiques)	<input type="checkbox"/>	

III. Outils de développement de l'application TELESYS

III.1. Base de données SQL SERVER

SQL Server est une solution de données de bout en bout, intégrée et complète, qui va offrir une couche de données (plate-forme) sécurisée, fiable et efficace pour les données de la solution. Cela simplifie la création, le déploiement, la gestion et l'utilisation des données ainsi que des applications analytiques sur les plates-formes allant de votre solution aux appareils mobiles.

SQL Server offre une solution d'analyse et de gestion de données intégrée. En effet, il est possible de :

- Créer, déployer et gérer des applications plus sécurisées, capables de monter en puissance et plus fiables ;
- Optimiser l'efficacité de l'informatique en réduisant la complexité de la création, du déploiement et de la gestion des applications de base de données ;
- Partager des données entre plusieurs plates-formes, applications et appareils pour simplifier la connexion des systèmes internes et externes ;
- Contrôler les coûts sans sacrifier les performances, la disponibilité, la montée en charge ou la sécurité.

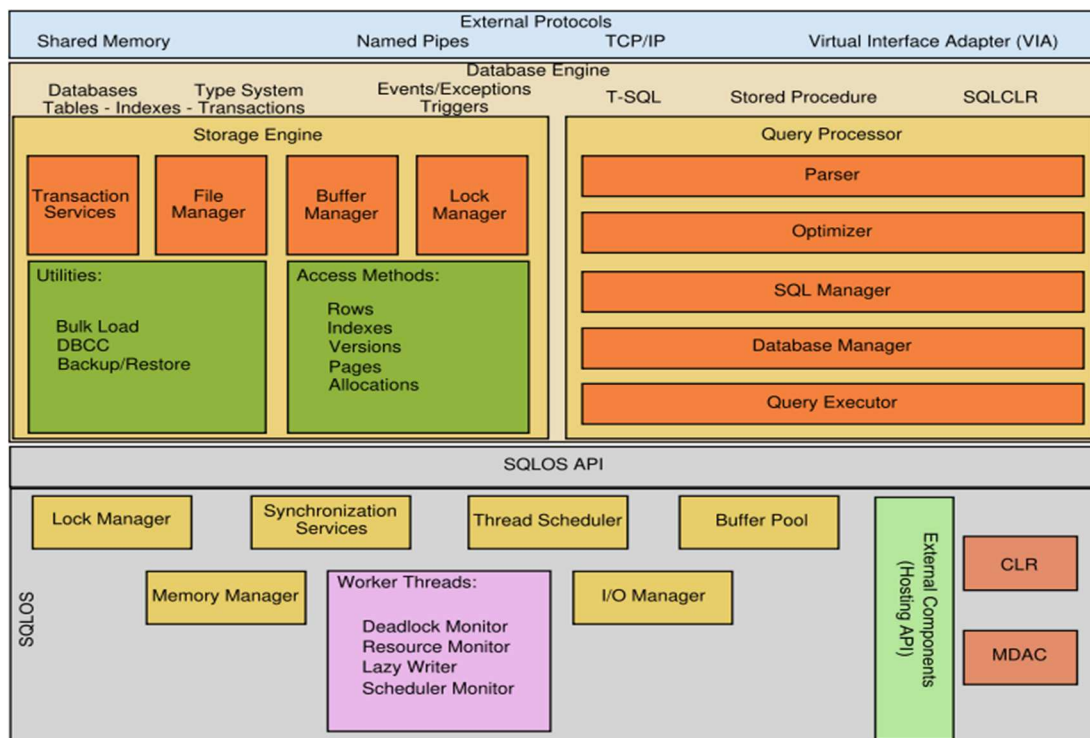


Figure A1 : Architecture de SQL Server.

III.2. Architecture .Net pour les interfaces

Nous présentons ici quelques éléments qui argumentent notre choix :

- **Microsoft .NET** est une plateforme qui aide à écrire, déployer et gérer des Web services. Elle contient à la fois les produits et les services nécessaires aux développeurs pour créer et exécuter les services Web XML. Cette plateforme permet aussi de mettre le Web au service de l'utilisateur en lui proposant des services plus intégrés, orchestrant différents ordinateurs, périphériques et services Web XML.
- **L'environnement .NET Framework** fournit un environnement d'exécution des applications qui gère la mémoire, adresse, la problématique de gestion des versions et renforce la fiabilité, l'évolutivité et la sécurité de votre application. Il offre un niveau de productivité élevé au développeur et permet l'exécution des applications écrites dans différents langages de programmation. C'est un peu le responsable de la corvée de gestion de la "plomberie logicielle" des applications. L'environnement .NET Framework comprend différents composants, parmi lesquels le CLR, ensemble complet de bibliothèques de classes pour la création de services Web XML. ASP.NET est la nouvelle génération des Active Server Pages pour la création d'applications Web aussi simple que celle des applications graphiques traditionnelles.

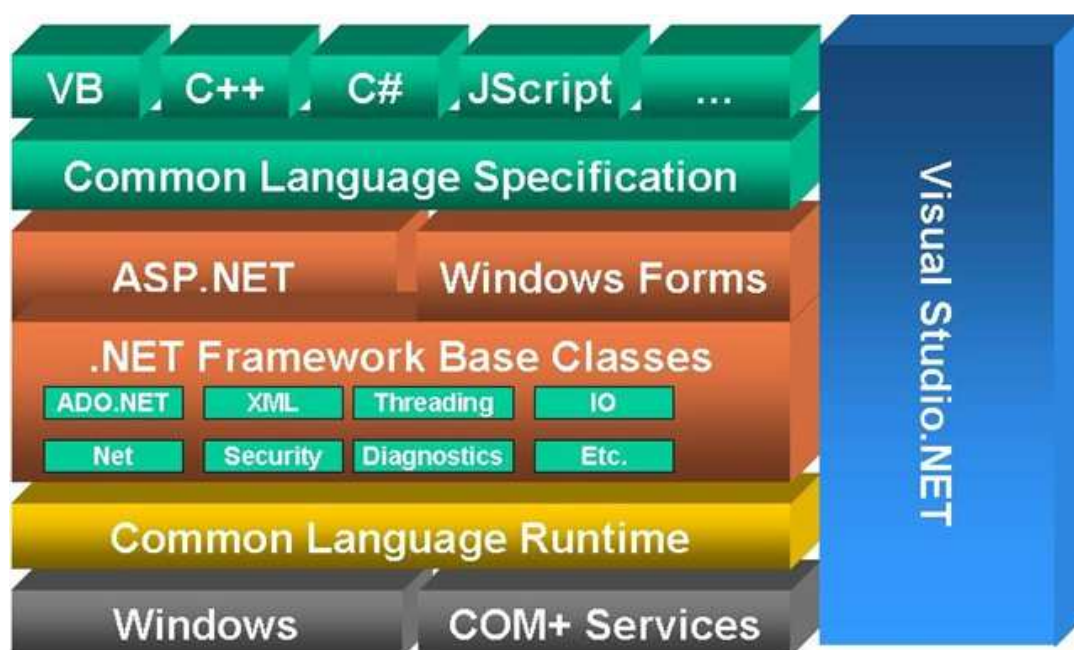


Figure .A2 : Framework .Net.