

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTEUR EN SCIENCES**

En : Génie industriel

Par : BEKKAOUI Mokhtaria

Sujet

Contribution à la gestion des connaissances dans la plateforme de S-Maintenance : une approche sémantique pour la sélection d'experts

Soutenue publiquement, le 10/10/2018 , devant le jury composé de :

M/ CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	FSI- UABB Tlemcen	Président
M/ MELIANI Sidi Mohammed	MCA	FSI- UABB Tlemcen	Directeur de thèse
M/ KARRAY Mohamed Hedi	MC	LGP-ENIT-INPT France	Co- Directeur de thèse
M/ BELKADI Khaled	MCA	USTO- MB Oran	Examineur
M/ CHIKH Azeddine	Professeur	UABB -Tlemcen	Examineur
M/ SOUIER Mehdi	MCA	ESMT -Tlemcen	Examineur

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à remercier Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la patience et la volonté de continuer et d'arriver à réaliser ce modeste travail, الحمد لله.

A l'issue de ce travail qui a été conçu dans le Laboratoire de Productique de Tlemcen, MELT, sous la direction de Mr MELIANI Sidi Mohammed ; à qui, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements les plus sincères et ma profonde gratitude pour son aide si précieuse.

Que Mr MELIANI Sidi Mohammed, Maître de Conférences (A) à l'Université de Tlemcen, trouve en ces quelques lignes, ma profonde gratitude et mon grand respect pour son aide, son dévouement pour le travail et ses précieux conseils si éclairés, je lui dois beaucoup, il est un modèle pour moi.

Je tiens à remercier particulièrement Mr KARRAY Mohamed Hedi, Maître de conférences de ENIT de Tarbes, d'avoir accepté de m'aider sans aucune hésitation, malgré leur emploi du temps bien chargé. Je leur en suis reconnaissante pour tout cela et bien plus. Ainsi que je remercie tous les membres du laboratoire LGP à Tarbes pour leur gentillesse et l'accueil qui m'ont consacré au cours de mon séjour à Tarbes.

Un grand merci à Mr CHEIKH Abdelmadjid, Professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie vivement Mr BELKADI Khaled, Maître de Conférences (A) à l'USTO MB, Mr CHIKH Azeddine, Professeur à l'Université de Tlemcen et Mr Souier Mehdi, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure de Management Tlemcen, pour avoir accepté d'expertiser ce travail et leurs participations au Jury. J'exprime l'assurance de ma considération distinguée à l'ensemble des membres du jury.

Je remercie vivement Mr SARI Zaki, Professeur à l'Université de Tlemcen de m'avoir donné la chance de préparer cette thèse au cœur du laboratoire MELT. Merci de vos conseils précieux.

Je remercie les membres du Laboratoire de Productique de Tlemcen, MELT.

Je remercie mes collègues de l'Ecole Supérieure des Sciences Appliquées de Tlemcen.

Merci à mes proches, mes collègues et tous mes amis de Tlemcen et Tarbes.

Je ne cite pas les noms pour n'oublier personne. Merci pour l'amitié, les moments agréables que nous avons passés et surtout le soutien et l'encouragement que vous m'avez apportés durant les moments difficiles de la thèse.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Table des figures & des tableaux

Chapitre 1

Etat de L'Art

<i>Figure 1 1 : Représentation des processus de maintenance selon la norme ISO 9001.(Seguy, 2008)</i>	13
<i>Figure 1 2 : Les différentes couches du processus de maintenance</i>	13
<i>Figure 1 3 Classification des différentes architectures en maintenance.</i>	16
<i>Figure 1 4 Architecture d'un système de maintenance.</i>	17
<i>Figure 1 5 Architecture de Télémaintenance.</i>	18
<i>Figure 1 6 Architecture du concept d'e-maintenance.</i>	19
<i>Figure 1 7 Architecture du concept de S-maintenance (Rasovska, 2006).</i>	19
<i>Figure 1 8 Inclusion des fonctionnalités dans les plateformes de maintenance, e-maintenance et s-maintenance</i>	22
<i>Figure 1 9 Types d'ontologies selon le niveau de généralisation</i>	25
<i>Figure 1 10 Différentes visions du processus de corrélation. A : (Valeur, 2006), B : (Sadoddin & Ghorbani, 2006), C : (Saeed Salah, Maciá-Fernández, & Díaz-Verdejo, 2013). A droite, les grandes fonctions qui ressortent dans tous ces travaux.</i>	41

Chapitre 2

Ontologie FOMES

<i>Figure 2 1 Exemples d'arbres de classifications de concepts dans IMAMO</i>	64
<i>Figure 2 2 FOMES under Protégé (plugin Jambalaya)</i>	69
<i>Tableau 2 1 Etat de l'art sur les ontologies industrielles</i>	60

Chapitre 3

Service de corrélation des alarmes

<i>Figure 3 1 Schéma général de l'approche proposée pour la classification d'alarme.</i>	80
<i>Figure 3 2 Une partie des concepts FOMES sous Protégé (plugin Jambalaya)</i>	82
<i>Figure 3 3 Les concepts principaux utilisés dans les algorithmes génétiques (Talbi 2009)</i>	85
<i>Figure 3 4 Organigramme de l'algorithme génétique</i>	86
<i>Figure 3 5 Réseau de neurone MLP</i>	87
<i>Tableau 3 1 Paramètres de l'ensemble de données d'alarme</i>	83

Chapitre 4

Service de Sélection des Experts

<i>Figure 4 1 L'approche adoptée via une approche de RàPC</i>	100
<i>Figure 4 2 Algorithme pour calculer Commitment_Level proposé</i>	105
<i>Tableau 4 1 Représentation d'un cas</i>	101

Chapitre 5

Expérimentations & Implémentation

<i>Figure 5 1: Hiérarchisation d'un réseau électrique</i>	111
<i>Figure 5 2 Vue globale sur les données collectées</i>	113
<i>Figure 5 3 Une vue d'ensemble des classes d'alarmes prédéfinies dans l'entreprise</i>	114
<i>Figure 5 4 Le diagramme des activités</i>	114
<i>Figure 5 5 Taux de classification de différents algorithmes</i>	116
<i>Figure 5 6 Exemple d'un fichier résultant de l'apprentissage</i>	117
<i>Figure 5 7 Requête SPARQL pour répertorier les classes d'alarmes</i>	118
<i>Figure 5 8 Liste de classification des alarmes</i>	118
<i>Figure 5 9 Résultats des calculs de similarité</i>	120
<i>Figure 5 10 Requête de filtrage d'après l'évaluation</i>	121
<i>Figure 5 11 liste des experts où Dataproperty Success='S'</i>	122
<i>Figure 5 12 Résultats du calcul le CommitmentLevel (ComL)</i>	123
<i>Figure 5 13 Requête de filtrage d'après ComitmentLevel</i>	124
<i>Figure 5 14 liste des experts classé suivant le Data_Property Commitment_Level</i>	124
<i>Figure 5 15 liste limité des experts classé</i>	124
<i>Figure 5 16 Requête de filtrage d'après le domaine</i>	125
<i>Figure 5 17 liste des experts filtré par domaine</i>	126
<i>Figure 5 18 liste des experts classés par niveau de skill</i>	126
<i>Tableau 5 1 Classe Alarme</i>	115
<i>Tableau 5 2 Résultats obtenus en utilisant différentes Métaheuristiques</i>	115
<i>Tableau 5 3 Représentation d'un cas</i>	119
<i>Tableau 5 4 Mesure d'Adaptation</i>	120
<i>Tableau 5 5 Calcul du CommitmentLevel (ComL)</i>	123

Introduction
Générale

Introduction Générale

Les challenges actuels du marché mondial induisent les entreprises à améliorer, d'une manière récurrente, leur compétitivité et à anticiper les évolutions par une stratégie d'envergure, à mobiliser leurs ressources humaines et techniques et à les adapter à l'évolution rapide de l'ordre économique et social. Dans ce contexte, la maintenance des équipements de production est l'un des éléments clés afin de garder intact la capacité de production des usines sans sacrifier la qualité des produits. Cependant, le coût de la maintenance représente une partie importante du prix de revient dans la production. De plus, un défaut d'équipement peut avoir un impact considérable sur sa disponibilité et sur la qualité du produit.

Aujourd'hui beaucoup d'argent et de temps sont perdus suite aux diagnostics pas efficaces. Avant de s'intéresser au diagnostic proprement parler, il serait intéressant d'étudier l'étape de pré-diagnostic car plusieurs problèmes sont rencontrés dans cette étape. Parmi eux, en premier le problème lié au flux des alarmes affichées sur le tableau de bord. Le nombre d'alarmes assez grand submerge même les opérateurs expérimentés. En raison de cette situation, la gestion des alarmes a été reconnue comme un problème important dans le domaine de la surveillance du système et de la détection des pannes. L'analyse des alarmes multivariées est complexe et important dans le domaine de la gestion intelligente des alarmes en raison des interrelations entre les variables.

Le deuxième problème rencontré dans l'étape de pré-diagnostic est lié au choix de la ressource humaine pour une tâche de diagnostic. La gestion et l'optimisation de l'utilisation des ressources humaines devient une facette de cette performance que les industriels redécouvrent et tentent de maîtriser. En fait, le processus de diagnostic repose essentiellement sur l'expertise humaine ce qui explique le coût engendré. C'est claire, qu'il y a une dépendance entre le temps et le coût du diagnostic. Réduire donc le temps de diagnostic aura un impact positif sur la réduction des coûts.

Consciente de ces impératifs socio-economiques, nous avons accordé une attention à la gestion des alarmes d'une part, et d'autre part à l'implication du capital humain comme l'un des éléments distinctif de performance. Le but étant le développement du système d'aide à l'opérateurs pour accomplir leur tâches. Le défi sera de trouver, pour une tâche de diagnostic, la bonne ressource humaine (acteur). Cela ne se limite pas à sélectionner la bonne ressource, à base d'un CV par exemple, au bon moment mais aussi qu'il soit également un acteur expérimenté. Une telle gestion fait intervenir un nouveau concept appelé la *compétence* (liée aux expériences passées). Il s'inscrit dans le cadre de l'émergence de nouvelles formes d'organisation de la performance productive, dans lesquelles la compétence, et plus généralement le savoir, semble prendre une place déterminante et qui n'est plus statique mais qui a un caractère dynamique dans le temps suivant l'expérience de l'acteur. Il est important de signaler que le problème d'affectation ou de sélection des acteurs de maintenance a été abordé dans plusieurs travaux de recherche. Parmi elles on trouve : l'utilisation de la logique floue pour la modélisation des compétences imprécises mais connues (Lima, J. et al. 2014); l'ordonnancement des tâches de maintenance préventive sur des ressources identiques (Mkaouar H. et al. 2013); ou encore, un axe qui s'intéresse à l'insertion dynamique des tâches dans un ordonnancement courant pour des ressources n'ayant qu'une compétence (Marmier et al. 2009). Mais peu d'approches qui prennent en compte le niveau dynamique de la compétence des ressources humaines. D'autre part, la quantification de la compétence est généralement très approximative. L'aspect réducteur que l'on donne en fixant les limites d'une compétence ainsi que l'éventail de tâches faisant appel à une même compétence font que le taux statique utilisé n'est pas nécessairement approprié à toutes les tâches pour lesquelles il est utilisé.

Nous avons pensé alors qu'une gestion efficace de la performance opérationnelle des ressources humaines, qui exige d'être en mesure de sélectionner la bonne personne à une tâche de diagnostic, en prenant en compte leurs caractéristiques dynamiques, pourrait être la clé de réduction des coûts de maintenance.

Cela nécessite de répondre à deux questions:

- Comment modéliser et évaluer les compétences dynamiques ?
- Comment sélectionner un expert pour une tâche de diagnostic selon ses compétences ?

Objectifs Scientifiques

Pour intégrer plus d'efficacité dans le processus de maintenance, nous nous intéressons particulièrement au pré-diagnostic. Un processus de pré-diagnostic se déclenche à partir d'une alarme, signant une détection d'une panne. La détection de la panne est indispensable pour que les mécanismes de réparation et de reconfiguration puissent se réaliser et remettre le système dans un état opérationnel. En outre, la détection à temps d'un dysfonctionnement et l'analyse rapide des phénomènes de défaillance permettent de prévenir l'aggravation de la situation et d'arrêter la propagation des conséquences de la panne par une intervention judicieuse et rapide.

Ainsi, le premier objectif scientifique de ce travail concerne la gestion de l'inondation d'alarme. Notre objectif est de proposer un outil permettant d'aider à réduire la quantité d'informations, en regroupant les alarmes suivant des critères étudiés.

Le deuxième objectif scientifique concerne de proposer une méthode et un outil pour la sélection d'experts de diagnostic. En effet, comme nous l'avons constaté au cours de nos recherches, il existe des travaux qui ont porté sur plusieurs critères de sélection des acteurs. A notre avis, ces critères pris en compte ne sont pas toujours suffisants pour satisfaire les exigences de résolution d'un problème de maintenance dans le temps, le coût et l'efficacité. Notre objectif est donc d'introduire un ou plusieurs critères pour favoriser une sélection meilleure. L'objectif est de fournir au manager d'un processus de maintenance un outil pour l'aider à faire une bonne affectation d'un expert afin d'accélérer la tâche de diagnostic.

Le mécanisme de fonctionnement général de cette approche est le suivant : lorsqu'une nouvelle alarme arrive, le système fait une classification selon l'équipement défaillant.

Ensuite, un compromis entre une meilleur sélection d'expert et une satisfaction élevée de performance de diagnostic, en qualité de temps et prix est visé.

Pour mettre en œuvre ce système, nous avons eu besoin d'une représentation cohérente de tous types de connaissances, l'ontologie semble être le meilleur candidat pour représenter les connaissances et pour faire des raisonnements dessus. Selon la littérature, une ontologie est une spécification formelle et explicite d'une compréhension commune des concepts d'un domaine et des relations entre ces concepts. C'est le bon choix pour la représentation des connaissances avec une sémantique unifié et interopérable.

Contrairement aux bases de connaissances traditionnelles, l'ontologie aide à décomposer la complexité de la gestion d'un grand nombre de règles et de contraintes en les organisant dans des hiérarchies et des taxonomies biens structurées. De ce fait, dans ce travail de recherche, notre système vise à exploiter une représentation ontologique qui englobe les connaissances du domaine de maintenance et les expériences passées des experts.

Problématique et verrous scientifiques

Dans la section précédente, nous avons mis l'accent sur les objectifs scientifiques de ce travail de thèse et qui tourne au tour d'une problématique générale qui est la gestion des ressources humaines lors d'une étape de pré-diagnostic.

Nous constatons que pour améliorer le pré-diagnostic, deux étapes doivent être suivies. La première est la classification des alarmes, et la deuxième sera la sélection d'un bon expert pour une tâche de diagnostic

Pour réaliser ces objectifs, nous devons faire face aux verrous scientifiques que nous résumons à travers les questions suivantes :

1. Comment obtenir une représentation appropriée de toutes les connaissances de tous les acteurs de maintenance avec l'ontologie ?
2. Comment modéliser la corrélation des alarmes ?
3. Comment modéliser l'expérience et la compétence de l'expert?
4. Comment formaliser un processus de sélection d'expert ?

Méthodologie

Le contexte applicatif de cette thèse s'intègre dans le cadre d'une entreprise de Production d'électricité (PE) qui gère le fonctionnement, l'entretien et la sécurité des installations et des équipements associés. Cette compagnie possède des équipements chers, sensibles et dangereux. Le choix d'un expert de maintenance est une tâche délicate, compte tenu des coûts d'entretien et de l'absence du gain généré en cas de panne. Par conséquent, on n'a pas le droit de se tromper.

En réponse aux problèmes soulevés dans la section précédente, la première phase de notre méthodologie de recherche est le choix d'une ontologie opérationnelle couvrant tous les aspects de la maintenance. Un état de l'art sur les plateformes de maintenance existantes a été réalisé. Après une étude approfondie, nous avons décidé de développer une nouvelle ontologie qui répondra à notre objectif. Ensuite, un processus de classification des alarmes liée au processus de sélection des experts a été proposé. L'objet principal de la deuxième phase concerne la façon d'exploiter l'ontologie dans les différents traitements proposés dans ce travail, soit dans la classification des alarmes ou bien la sélection des experts. Dans le processus de classification des alarmes, un état de l'art sur la corrélation des alarmes et les critères de classification a été fait. Après, nous avons décidé de faire une étude comparative entre plusieurs méthodes. La deuxième étape, dans la phase deux, consiste à étudier les différentes approches d'ordonnancement et de sélection existantes. Toutefois, évaluer les connaissances, ainsi qu'une bonne estimation de leurs niveaux de compétences, restent un défi. Le problème d'affectation sous contraintes de compétences ne cherche plus à prendre en compte uniquement le niveau statique des ressources humaines. Celui-ci doit, en plus, considérer le niveau dynamique de compétences acquis par l'expérience. La formulation du problème mérite d'être bien étudiée. Elle doit être développée de manière à faciliter, par la suite, l'étude de l'impact des expériences positives des acteurs sur la performance de l'opération de diagnostic en termes de temps et de coût. Ce qui implique un mécanisme qui garantit la flexibilité et l'adaptabilité du processus, mais soulève

également une difficulté de trouver des solutions optimales. Ce qui nous amènent à recourir aux combinaisons entre plusieurs approches.

Contributions

Notre contribution fondamentale recouvre trois problématiques: le développement d'une nouvelle ontologie, la classification des alarmes et l'estimation des niveaux de compétences pour une sélection éventuelle des experts. Plus précisément, l'outil en question doit permettre, d'une part, d'apporter une solution fiable et objective au problème d'évaluation des taux de compétences. D'autre part, il doit permettre à tout manager de mobiliser la bonne ressource humaine pour une tâche de diagnostic lors de l'apparition des alarmes. Un compromis entre une meilleure sélection d'expert et une satisfaction élevée de performance de diagnostic, en qualité de temps et prix, est visé.

Pour assurer le bon fonctionnement de ce système, la première démarche consiste à construire une base de connaissances composée d'ontologie. Elle stocke les connaissances sur le domaine de diagnostic, les experts et les expériences passées.

Pour la deuxième problématique, nous proposons une étude comparative de trois méthodes de métaheuristiques telque (Recuit Simulé, Algorithme Génétique (AG) et Optimisation par Essaim de Particules(OEP)).

La troisième problématique concerne la résolution du problème de sélection des experts pour une tâche de diagnostic. L'approche s'appuie sur la méthode Raisonnement à Partir de Cas (RàPC), en mettant principalement l'accent sur l'étape d'adaptation du cyle. Etant donné que les ressources humaines considérées sont différentes en termes de niveaux de compétence, nous proposons une évaluation dynamique de ce concept, telque la durée de réalisation d'une tâche de diagnostic et le coût d'exécution qui ont une influence sur la sélection d'expert.

Structure du document

Le présent document est structuré de la façon suivante :

Dans le chapitre 1, un état de l'art est décrit. A travers la première partie, nous présentons la maintenance, son fonctionnement, ses différentes plateformes et la nouvelle tendance vers la maintenance intelligente. Ensuite, un état de l'art porte sur le domaine des ontologies est présenté. Nous nous limitons exclusivement aux méthodes de formalisation des connaissances pouvant être utilisés dans le cadre de nos travaux de recherche. Dans la deuxième partie, nous présentons le processus diagnostic, les différentes méthodes de diagnostic et la corrélation des alarmes. Dans la dernière partie, nous abordons la problématique de sélection des acteurs dans le domaine industriel.

Dans le chapitre 2, une méthodologie d'ingénierie de l'ontologie a été appliquée pour la construction de la nouvelle ontologie. Cette dernière englobe tous les concepts du processus de maintenance plus les concepts lié aux expériences de diagnostic passées afin que le système de sélection des experts puisse être exploité.

La partie II expose l'ensemble de nos contributions à travers trois sous chapitres. Au niveau des deux premiers sous chapitres, nous détaillons les étapes de la nouvelle approche proposée pour la gestion des alarmes et la modélisation du problème de sélection des experts. Le dernier sous chapitre présente une mise en œuvre des développements théoriques avancés, développés en détail dans les chapitres précédents.

Nous proposons, dans le chapitre 3, une approche de résolution au problème de corrélation des alarmes. Nous commençons d'abord à traiter la nouvelle notion de corrélation sémantique. Une études des travaux traitant le problème de corrélation est également présentée. Nous discutons les caractéristiques et les points faibles de ces approches. Une dernière partie de ce chapitre, consiste à expliquer en détail l'approche proposée pour développer le système de classification des alarmes.

Le chapitre 4 concerne la formulation du problème de sélection étudié. Nous commençons par une description détaillée du problème et du contexte de recherche. Nous nous intéressons, par la suite, à la méthode Raisonnement à Partir des Cas (RàPC). Notre tâche consiste alors à adapter ce modèle au contexte de notre étude. Pour ce faire, il est utile d'identifier les cas et les différentes étapes.

Le chapitre 5 met en évidence l'approche globale de résolution du problème de sélection des experts basé sur le RàPC grâce à une application sur un cas réel.

Nous terminons notre thèse par une conclusion générale dans laquelle nous rapportons les faits saillants des développements que nous avons exposés et les principaux résultats auxquels nous avons abouti. Nous présentons enfin les pistes de recherche à suivre pour approfondir et améliorer ces résultats.

Chapitre I

Chapitre 1.

Etat de L'art



Le progrès remarquable de ces dernières années dans le domaine de sciences et Technologies de l'Information et de la communication (STIC), a apporté de gros changements à tous les niveaux de l'organisation des systèmes de production y compris, bien évidemment la fonction maintenance. Cette expansion s'explique par la croissance des coûts de maintenance et leurs conséquences dans les systèmes de production, de plus en plus complexes et sophistiqués. Dans ce contexte, nous allons présenter dans ce chapitre notre problématique de recherche d'un point de vue scientifique. Ce chapitre est organisé en trois parties. Nous commençons dans la première partie à introduire le processus de maintenance. Nous continuons par la définition des diverses architectures de la maintenance en découvrant progressivement ses formes vers la maintenance intelligente. Par la suite, nous introduisons les définitions de base de la connaissance et la compétence. Nous passons par les différentes typologies, les méthodes de formalisation des connaissances et les langages pour la construction des ontologies. Dans la deuxième partie, nous abordons le processus de diagnostic avec les méthodes de diagnostic. Après, nous nous intéressons à la notion de corrélation des alarmes. L'état de l'art sur la problématique de la sélection des acteurs de maintenance est présenté dans la troisième partie du chapitre. A la fin de cette étude bibliographique, les principales problématiques et problèmes scientifiques seront identifiés.

Chapitre 1.....	9
1.1. <i>Maintenance industrielle</i>	10
1.1.1. Concepts et définitions.....	10
1.1.2. Processus de maintenance.....	12
1.1.3. Ressources du système de maintenance.....	14
1.1.4. Différentes architectures des systèmes de maintenance.....	16
1.2. <i>S-maintenance : la nouvelle tendance vers la maintenance intelligente</i>	20
1.2.1. Plateforme de s-maintenance	21
1.2.2. Le rôle de l'ontologie dans la s-maintenance.....	22
1.3. <i>Ontologie dans la maintenance</i>	23
1.3.1. Définition.....	23
1.3.2. Typologies des ontologies.....	25
1.3.3. Méthodes de formalisation des connaissances.....	27

1.3.4.	Langages des ontologies	30
1.4.	<i>Processus de diagnostic</i>	32
1.4.1.	Alarmes	32
1.4.2.	Pannes.....	32
1.4.3.	Superviser.....	33
1.5.	<i>Méthodes de diagnostic à l'aide d'informations</i>	34
1.5.1.	Méthodes de diagnostic à base de connaissances	34
1.5.2.	Méthodes de diagnostic à base de données.....	37
1.5.3.	Processus de corrélation d'alarmes.....	40
1.6.	<i>Sélection des acteurs dans le domaine industriel</i>	42
1.6.1.	Problématique de sélection des acteurs	42
1.6.2.	Formalisation du contexte et définition d'un mécanisme de sélection	44
1.7.	<i>Synthèse</i>	48
	<i>Références Bibliographiques</i>	49

1.1. Maintenance industrielle

1.1.1. Concepts et définitions

Dans un monde industriel de plus en plus complexe, la maintenance apporte une contribution essentielle à la sûreté du fonctionnement d'un bien. Au cours de ces dernières décennies, la fonction maintenance est devenue la réponse au besoin de maîtriser techniquement et économiquement des systèmes de production dans un environnement qui s'automatise progressivement.

Dans (Laprie et al., 1995), la sûreté de fonctionnement est définie comme «la propriété d'un système qui permet de déplacer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre».

Selon (Francastel, 2001), la sûreté de fonctionnement est « un ensemble d'aptitudes nécessaires à un bien à être disponible aux différents moments de son cycle de vie, en offrant les performances requises, soit : fiabilité (ou probabilité pour que le bien accomplisse sa fonction), maintenabilité (ou aptitude à être maintenu), sécurité pour les biens eux-mêmes, le personnel et leur environnement) ».

En effet la norme (AFNOR, 2001) définit la sûreté de fonctionnement comme « un ensemble des propriétés qui décrit la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance ».

Plusieurs critères comme le MTBF (Mean Time Between Failure), MTTR (Mean Time To Repair),... permettent de caractériser en termes de sûreté de fonctionnement le fonctionnement des biens maintenus.

C'est pourquoi, la norme (AFNOR, 2001) nous apporte les définitions de base suivantes :

- La disponibilité est « définie comme la capacité d'un élément (sous des aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de son support de maintenance) à remplir sa fonction requise à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné ».
- La fiabilité est « une aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné ».
- La maintenabilité est « définie comme la probabilité qu'un composant ou un système défaillant soit restauré ou réparé dans une condition spécifiée dans une période de temps où une action de maintenance est exécutée dans des procédures en perspective. ».

Dans ce même ordre d'idées, il convient d'aborder la notion de critères de maintenabilité (Kaffel, D'Amours, & Ait-Kadi, 2003) que nous retrouvons dans la norme AFNOR. Ses critères sont au nombre de cinq :

- ✓ la surveillance en maintenance préventive et l'accessibilité des composants,
- ✓ les différents temps de la maintenance corrective, en matière de recherche de panne, de défaillance ou encore de diagnostic,
- ✓ l'organisation de la maintenance, avec la périodicité des interventions préventives, la présence d'indicateurs, la complexité des interventions,
- ✓ la qualité des ressources immatérielles aidant à l'intervention,

Le suivi de l'équipement par le fabricant.

- La supportabilité est « une aptitude d'une organisation de maintenance à mettre en place les moyens de maintenance appropriés à l'endroit voulu en vue d'exécuter l'activité de maintenance demandée à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné ».
- La logistique de maintenance représente « des ressources, services et moyens de gestion nécessaires à l'exécution de la maintenance ».
- La fonction requise est définie comme « une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné ».
- La défaillance représente « la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise ». À travers le terme de défaillance, il y a la notion d'un évènement anormal survenu à un instant donné du fonctionnement de

l'équipement (du bien). Cela le diffère de la dégradation, qui est une évolution de l'état.

- La dégradation est définie comme « évolution irréversible d'une ou plusieurs caractéristiques d'un bien liée au temps, à la durée d'utilisation ou à une autre cause externe ».
- La maintenance est « un ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » (AFNOR, 2001). Maintenir un bien est considéré comme étant une action à long terme contrairement à l'action de rétablir, qui, elle est considérée à court terme.
- Pronostic (Muller, Crespo Marquez, & Iung, 2008)« 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 des interventions de maintenance planifiées et éventuellement, de conditions opérationnelles ou environnementales changeantes. Celui-ci doit donner une vision globale des performances futures du système. Il prend aussi en compte les actions de maintenance déjà réalisées ainsi que les modifications de l'équipement engendrées par son évolution. Le pronostic s'appuie sur la connaissance de l'historique de l'équipement, de son état courant et de l'utilisation pour laquelle il est prévu.

1.1.2. Processus de maintenance

Un modèle de processus global de maintenance est proposé par l'ISO 9001 00, ce modèle associe une organisation à un processus comprenant :

- des flux entrants,
- des transformations de ses flux entrants en utilisant des moyens informatiques,
- des flux sortants résultant de ses transformations.

Ce modèle a été complété par la distinction de trois types de processus élémentaires. Il s'agit des processus (Seguy, 2008) (voir Figure 1-1) de :

- pilotage : gestion des autres processus en transformant des informations en directives,
- réalisation : activités de transformation participant directement à la réalisation d'un produit ou d'un service pour un client,
- support : ressources et moyens nécessaires au déroulement de tous les autres processus.

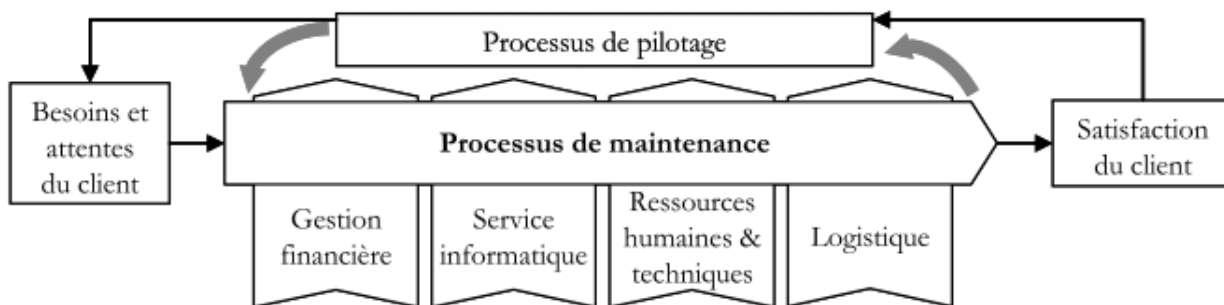


Figure 1-1 : Représentation des processus de maintenance selon la norme ISO 9001.(Seguy, 2008)

Afin de proposer un système de gestion et d'aide à la maintenance, Rasovska et al (Rasovska, Chebel Morello, & Zerhouni, 2007) partent de ces définitions et du processus de maintenance et identifient quatre principaux domaines : deux d'entre eux sont en relation avec les techniques, et les deux autres sont en relation avec la gestion dont les activités s'emboîtent les unes dans les autres, et qui catégorisent toutes les tâches du processus global de maintenance (voir Figure1-2).

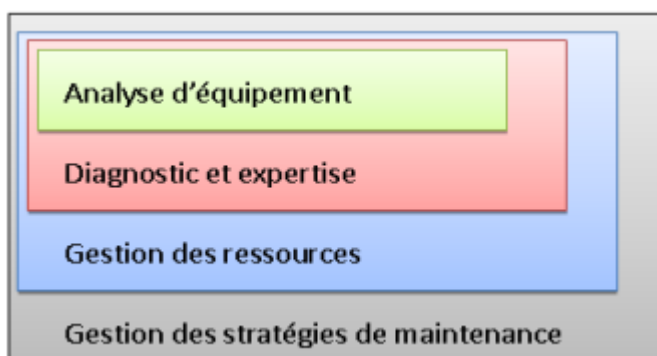


Figure 1-2 : Les différentes couches du processus de maintenance (Rasovska et al., 2007)

- L'analyse de l'équipement est un domaine qui englobe le recensement des données et de l'information, les différentes analyses de l'équipement (structurelle, fonctionnelle/dysfonctionnelle, événementielle etc..), ainsi que les connaissances concernant le plan de l'expertise associé. Les systèmes informatiques associés à ce bloc sont : les systèmes de surveillance, analyses automatisées comme AMDEC, arbres de défaillances, HAFOP.
- Diagnostic et expertise englobent les applications de surveillance, de détection de défaillance, de diagnostic de pannes, de pronostic des dégradations et d'aide à la décision concernant des mesures de réparation, et de maintien en conditions opérationnelles.

- Gestion des ressources afin d'accomplir leurs objectifs, cette couche utilise des indicateurs techniques et financiers. Ces indicateurs proviennent des rapports d'intervention édités dans les phases de diagnostic de panne et de réparation. Elle permet de gérer les ressources humaines et matérielles, les plans des interventions de maintenance préventive et le stockage avec des pièces de rechange, des outils utilisés pour les interventions ainsi que les documents concernant l'organisation de l'entreprise, ses processus et activités.

- Gestion des stratégies de maintenance, concerne des tâches de préparation de contrat de maintenance, l'établissement du budget et son contrôle continu, le choix de la stratégie de maintenance pour un parc d'équipements à maintenir.

1.1.3. Ressources du système de maintenance

La maintenance industrielle est avant tout un outil de développement et d'adaptation technologique. L'investissement dans la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de l'équipement moderne de production augmente de façon notable leur durabilité et leur rentabilité. La gestion des ressources peut être un obstacle à l'application d'un programme de maintenance défini. Suite à des contraintes budgétaires, ou autre situation créant une indisponibilité des ressources de maintenance, ils peuvent être amenés à revoir le programme établi et repousser, suspendre, voire annuler la réalisation de certaines tâches. Il faut être capable d'identifier attentivement les tâches qui pourraient être différées sans influencer sur les performances de l'installation. Ainsi, la maîtrise des coûts est toujours l'un des enjeux majeurs de la maintenance. L'évaluation de ces coûts n'est pas toujours aisée et nécessite d'identifier les centres de coûts et les différents coûts (directs, indirects, fixes ou proportionnels) liés au personnel, aux outillages, aux pièces de rechange mais aussi ceux de sous-traitance, d'arrêt de la production, (Dumont & Morel, 2001), par l'intermédiaire de méthodes dédiées "Life Cycle Cost" (LCC). Certains auteurs se sont intéressés à la gestion des ressources de maintenance en proposant des éléments d'amélioration, notamment, pour l'allocation de ces ressources (Brown & McCarragher, 1999; Fiori de Castro & Lucchesi Cavalca, 2006) et leur disponibilité (Elegbede & Adjallah, 2003) dont l'objectif est d'optimiser leur potentiel d'utilisation. Il s'agit de planifier des ressources critiques, comme dans (Adzakpa, Adjallah, & Yalaoui, 2004; Aghezzaf, Jamali, & Ait-Kadi, 2007) où les auteurs proposent des méthodes d'optimisation selon des modèles mathématiques en prenant en considération des paramètres tels les coûts, les durées d'intervention et les taux de défaillance des équipements. Les ressources de la maintenance sont principalement : personnel, l'outillage nécessaire pour les réparations et les pièces de rechanges.

1.1.3.1. Pièces de rechange

Les pièces de rechange sont un point important des ressources de maintenance puisque, sans elles, les interventions ne peuvent être réalisées alors que le coût de possession de ces pièces tient une place importante. Un programme de gestion de la maintenance a pour objectif de réduire la quantité de pièces de rechange en stock. Il permet principalement de pouvoir gérer leurs lieux de stockage, d'en connaître la disponibilité, d'éviter le gaspillage, de connaître l'évolution des stocks et la nécessité de lancer des commandes. Le niveau du stock dépend naturellement de deux facteurs : les entrées et les sorties des pièces. Plusieurs travaux se sont intéressés à la gestion de stock (Boyer, Riopel, & Langevin, 2005; Huiskonen, 2001; Kennedy & Wayne-Patterson, J. Frienddall Lawrence, 2002; Rustenburg, Van-Houtum, & Zijm, 2001). Les travaux cités dans ce paragraphe s'intéressent aux ressources nécessaires et au bon déroulement des activités de maintenance.

1.1.3.2. Outillage

Une autre ressource est nécessaire pour une intervention dans un service de maintenance, la possibilité de l'intervention dépend donc de leur disponibilité et nécessite d'être planifiée.

1.1.3.3. Ressources humaines

Dans un service maintenance, la gestion des ressources humaines montre le besoin en agents de maîtrise, techniciens des méthodes en particulier, s'appuyant sur une polyvalence large pour pouvoir gérer les actions techniques. À la base, c'est sur les conducteurs d'installation que reposent les interventions du premier niveau. Ils sont assistés par des équipes d'intervention et de maintenance composées de spécialistes à forte technicité et de compétences décloisonnées (exemple : omniprésence de l'automatisme et de l'informatique industriel).

À tous les niveaux de responsabilité d'un service, la maintenance se caractérise par une nécessaire polyvalence, le « fait technique » devant systématiquement être piloté par une réflexion économique et sécuritaire. La culture d'origine doit être incontestablement technique. Cependant le technicien doit apprendre à gérer, à animer, à informer, parfois à former ou bien négocier, d'où la notion de compétences. Nous allons donc, focaliser notre approche sur cette catégorie de ressources de maintenance qui sont fortement les plus importantes du service de maintenance, mais également les plus compliquées à gérer.

1.1.4. Différentes architectures des systèmes de maintenance

Les différentes architectures des systèmes en maintenance, y compris, les nouvelles plates-formes émergentes, sont classées, d'une part en fonction de la complexité et du niveau de structuration de l'information partagée, et d'autre part, en fonction de l'intensité de la relation entre ces systèmes et applications intégrés dans les architectures (Rasovska et al., 2007).

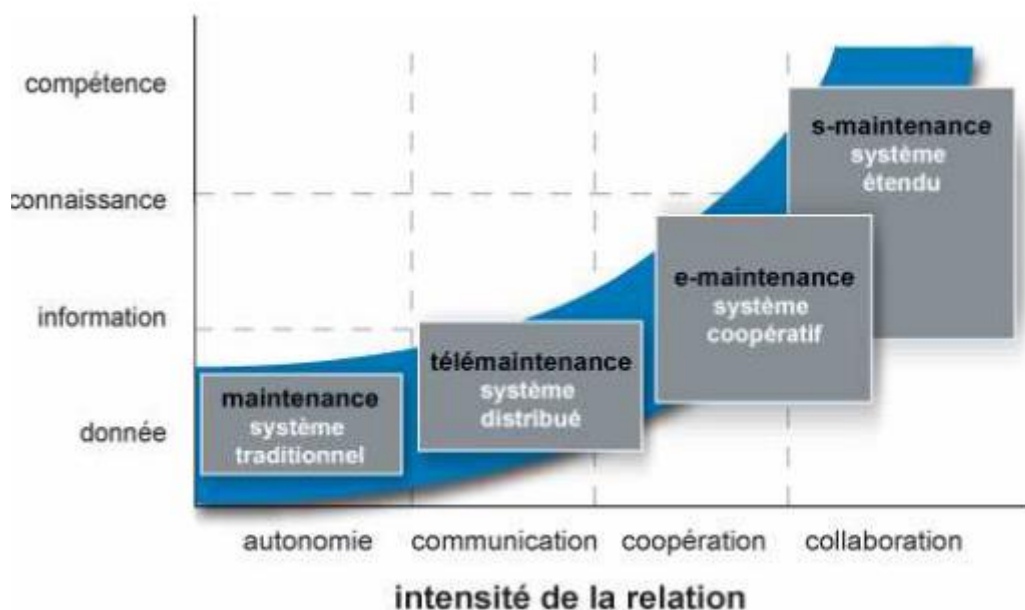


Figure 1-3 Classification des différentes architectures en maintenance (Rasovska et al., 2007).

Les différents systèmes informatiques en maintenance sont classés sous deux axes : d'une part, par rapport au type d'information utilisée dans le système et d'autre part à l'intensité d'une éventuelle relation avec d'autres systèmes informatiques. Plus la relation est intense plus les systèmes sont reliés et intégrés. Nous parlons d'architectures communes qui seront implémentées à travers des plateformes. Elles sont classées sur une exponentielle car la collaboration entre ces systèmes est atteinte plus tôt que le niveau de la compétence partagée. Le volume d'informations gérées automatiquement est concrétisé par la surface du carré de chaque système et augmente avec l'intensité de collaboration. Il augmente aussi, avec la complexité de l'information partagée. Nous tenons à signaler qu'il y a une parallèle entre cette classification des systèmes et la classification des entreprises telle qu'elle est présentée dans d'autres travaux (Dedun & Seville, 2005). Il s'agit de l'entreprise traditionnelle, distribuée, coopérative et étendue.

1.1.4.1. Maintenance

Un système de maintenance est représenté par une application de maintenance ou de fiabilité des différentes activités de la fonction de maintenance tels que logistique, planning des interventions, gestion des stocks (géré par la GMAO et ERP), diagnostic et réparation (systèmes experts, bases de données) et surveillance d'un équipement (SCADA et la commande numérique sur un équipement). L'architecture de ces systèmes peut varier selon les différents objectifs visés. Rasovska (2007) propose un schéma générique valable pour n'importe quel système d'entreprise. Il se compose de deux parties principales, à savoir le système physique et le système de gestion. Le système de gestion produit l'ensemble des résultats ou décisions en se basant sur les informations provenant du système physique (Kaffel, 2001). L'acquisition des informations se fait manuellement ou plutôt limitée dans son automatisation. Les décisions se font donc par l'intermédiaire d'un système d'information.

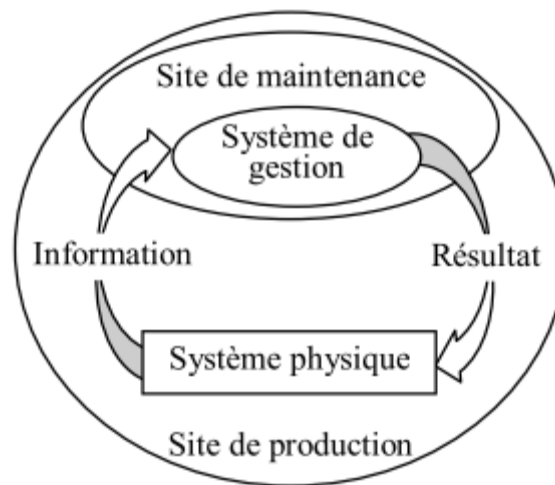


Figure 1-4 Architecture d'un système de maintenance (Kaffel, 2001).

1.1.4.2. Télémaintenance

La télémaintenance est une forme évoluée de maintenance (Kaffel, 2001; Kolski & Millot, 1993). Elle est également appelée "remote maintenance", pour maintenance à distance. La norme AFNOR NF EN 13306 définit la télémaintenance comme étant "maintenance d'un bien exécutée sans accès physique du personnel au bien".

La télémaintenance peut également être vue comme "un système permettant de rapatrier et de traiter toutes les informations techniques du processus de production" (Fermeuse, 2003; Tararykine, Ould-hocine, & Zerhouni, 2005). Il s'agit en fait, d'activités de maintenance réalisées via un moyen de télécommunication (Saint Voirin, 2002). La télémaintenance a donc pour objectif de gérer des équipements à maintenir à distance. Cette gestion distante nécessite un moyen de communication à distance (réseau, intranet, Internet). Une instrumentation des équipements concernés par des capteurs,

permet une surveillance et une détection des défaillances. Les données émises par les capteurs sont traitées par un ensemble d'acteurs de maintenance. Le système de gestion de ces données est le plus souvent localisé en atelier de maintenance et permet le traitement à distance. Ce type d'instrumentation peut également être appelé télésurveillance ou télédiagnostic (Saint Voirin, 2002; Seguy, Noyes, & Clermont, 2009).

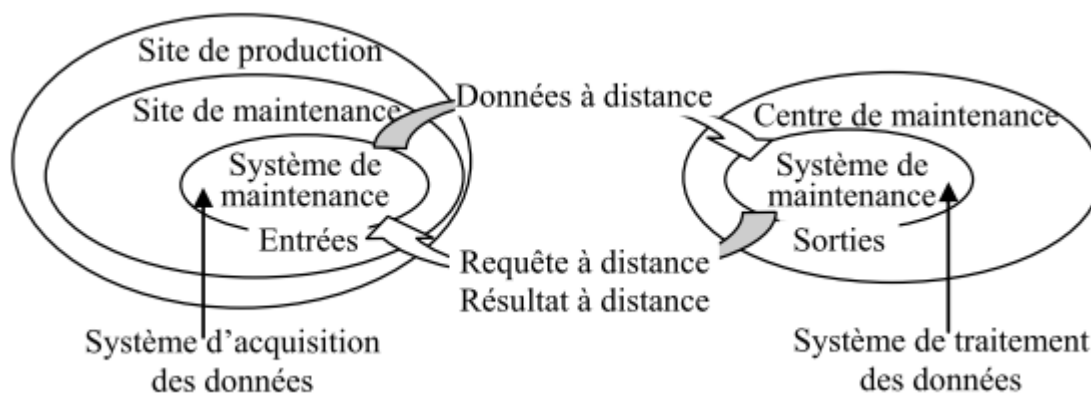


Figure 1-5 Architecture de Télémaintenance (Rasovska et al., 2007).

Toujours en gardant l'aspect de distance, la télémaintenance peut être installée sur un seul site de production, comme il peut être réparti entre différents sites de production, ou un site de maintenance et/ou un centre de maintenance.

1.1.4.3. E-maintenance

L'e-maintenance est également une forme évoluée de maintenance avec l'avènement d'Internet et des TIC. Cette évolution permet de partager des connaissances et de faire collaborer des acteurs (Lee, Ni, Djurdjanovic, Qiu, & Liao, 2006; Muller et al., 2008). Selon (Muller et al., 2008) "La e-maintenance est un concept qui peut être défini comme un support de maintenance qui inclut les ressources, les services et la gestion nécessaires pour rendre possible l'exécution des processus de décision proactive". L'architecture d'e-maintenance se fait via un réseau web qui permet de coopérer, d'échanger, partager et de distribuer ces informations aux différents systèmes partenaires de ce réseau (cf. figure. 1-6). Le principe consiste à intégrer l'ensemble des différents systèmes de maintenance dans un seul système d'information (Muller, 2005). Les systèmes proposent différents formats d'information qui ne sont pas toujours compatibles pour le partage, ce qui nécessite la coordination et la coopération entre les systèmes pour les rendre interopérables. D'après (Spadoni, 2004), l'interopérabilité est « la capacité de deux systèmes de communication à pouvoir communiquer de façon non ambiguë, que ces systèmes soient similaires ou différents.

On peut dire que rendre interopérable, c'est créer de la compatibilité. » L'architecture d'e-maintenance doit alors assurer l'interopérabilité avec chacun de ces différents systèmes.

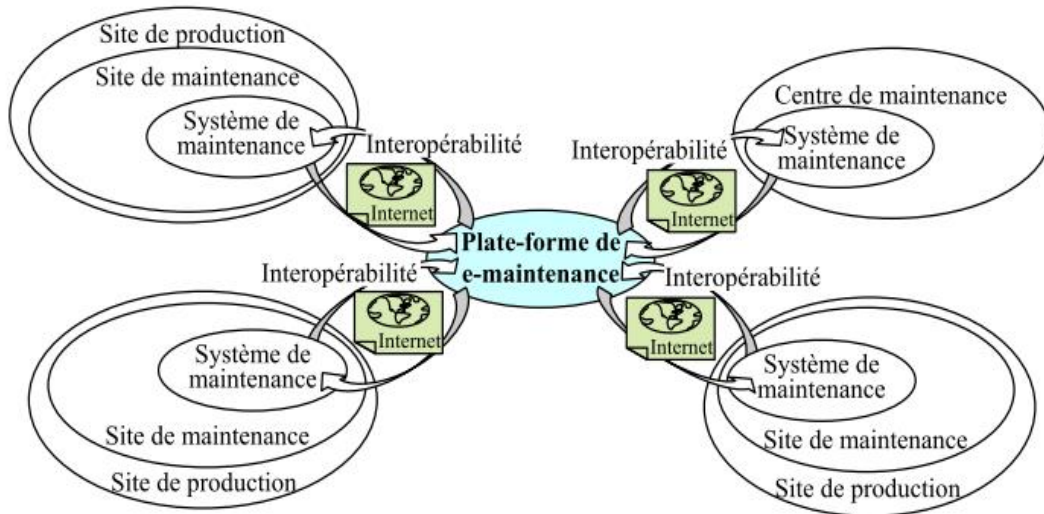


Figure 1-6 Architecture du concept d'e-maintenance (Muller, 2005).

1.1.4.4. S-maintenance

De nombreux travaux ont été réalisés sur le web sémantique. La s-maintenance s'appuie sur le web sémantique pour l'ajout de sens aux informations traitées via une ontologie. Selon (Rasovska et al., 2007) l'architecture d'une plateforme de s-maintenance prend appui sur l'architecture d'e-maintenance où l'interopérabilité des différents systèmes intégrés dans la plateforme est garantie par un échange de connaissances représentées par une ontologie. Afin que le partage de l'information dans le réseau coopératif d'e-maintenance soit sans difficulté, il est obligé de formaliser cette information d'une façon à pouvoir l'exploiter dans les différents systèmes faisant partie du réseau. Cette architecture permet d'approfondir la coordination entre les différents partenaires du réseau.

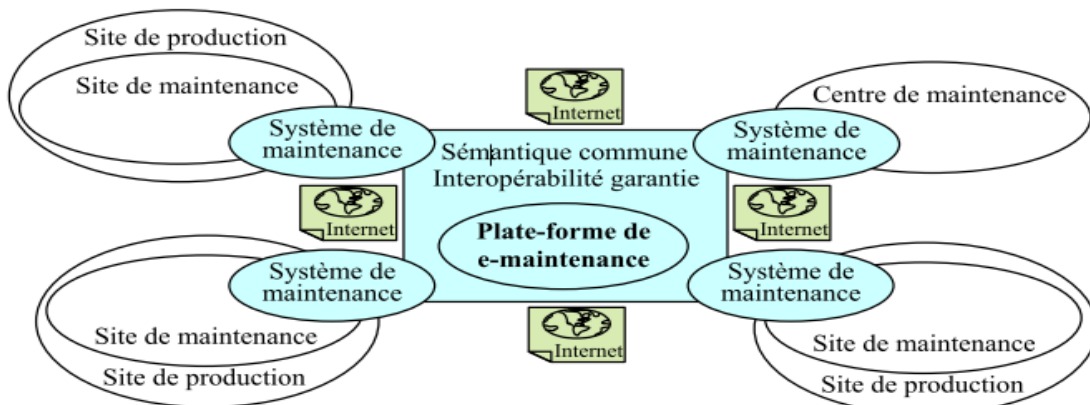


Figure 1-7 Architecture du concept de S-maintenance (Rasovska, 2006).

Les systèmes partagent la sémantique créée pour l'architecture commune de la plateforme d'e-maintenance. Cette base terminologique et ontologique modélise l'ensemble des connaissances d'un domaine. Elle jouera le rôle de la mémoire permettant de mettre en place un système de gestion et de capitalisation des connaissances et d'exploiter ainsi, le retour d'expériences pour améliorer le fonctionnement de système de maintenance. L'outil logiciel doit jouer le rôle d'intégrateur de service capable de se connecter aux autres systèmes, propres aux entreprises. Ce système de connaissances permet d'identifier, de capitaliser et de restituer la connaissance nécessaire à la conduite, à l'aide d'un environnement d'assistance (Kramer, 2003). La sémantique a trois niveaux, à savoir les concepts généraux de la maintenance, les concepts du domaine d'application et les concepts spécifiques à chaque entreprise.

1.2. S-maintenance : la nouvelle tendance vers la maintenance intelligente

Les systèmes proposant différents formats d'information ne sont pas toujours compatibles pour le partage de données et de connaissances ce qui nécessite coordination et coopération entre ces systèmes pour les rendre interopérables. A ces fins, la plupart des plateformes existantes utilisent les Web services pour garantir l'interopérabilité technique, mais pas sémantique entre ses différentes applications intégrées. La mise en place d'adaptateurs entre ces services web et la normalisation des données échangées sont toujours des tâches très compliquées, et ne traitent pas de la sémantique des données échangées. L'interopérabilité est définie par le « IEEE Computer Standard Dictionary » comme « la capacité de deux ou plusieurs systèmes ou composants à échanger des informations et à utiliser les informations qui ont été échangées » (IEEE Computer Dictionary, 1990). A partir de cette définition, il est possible de décomposer l'interopérabilité en deux composantes distinctes : la capacité à échanger des informations, et la capacité à utiliser l'information une fois qu'elle a été reçue. Ces processus sont appelés « l'interopérabilité syntaxique » et « l'interopérabilité sémantique » successivement.

En effet, l'interopérabilité syntaxique assurée aujourd'hui par les plateformes de e-maintenance solutionne à moitié le problème, et doivent être orientée vers une interopérabilité sémantique assurant un niveau élevé d'échanges d'informations et même des connaissances, (Shedrof, 1999) dans le but de garantir un échange efficace de l'information entre les applications hétérogènes de maintenance. Si l'interopérabilité sémantique n'est pas clairement définie elle peut engendrer un conflit sémantique (Pollock, 2001).

Pour répondre aux nouveaux besoins des acteurs de maintenance, (Karray, 2012) a élaboré une plateforme devant assurer une bonne exploitation des connaissances par des raisonnements logiques permettant de faire évoluer le capital de connaissance du système de maintenance et de ses applications intégrées.

La définition du concept de s-maintenance prend appui sur la définition de l'e-maintenance qui est générale et qui dépend elle-même de la définition de la maintenance. Cependant des contraintes sont imposées orientant ainsi, la réalisation de ce concept vers la connaissance.

La **s-maintenance** « est la réalisation de la maintenance basée sur la connaissance experte du domaine, où les systèmes du réseau gèrent ces connaissances et partagent la sémantique en faisant émerger de nouvelles génération de services et offrant des services à la demande, grâce à des fonctionnalités adaptatives et autonomes ».

1.2.1. Plateforme de s-maintenance

Karray (2012) considère la notion de la collaboration comme une caractéristiques de base de la s-maintenance en sachant que tout système dans le réseau agit collectivement dans un même objectif, en utilisant et en partageant les ressources communes, à savoir les connaissances expertes du domaine de ce cas. Par conséquent, il prend en considération la définition de la plateforme de collaboration, pour définir une plateforme de s-maintenance.

En effet, les plateformes de collaboration sont des plateformes électroniques, unifiées qui facilitent la communication synchrone et asynchrone, à travers une variété de dispositifs. Les plateformes de collaboration offrent un ensemble de composants logiciels et de services logiciels permettant aux individus de trouver les uns et les autres, les informations dont ils ont besoin, d'être capables de communiquer et de travailler ensemble pour atteindre des objectifs des métiers communs. La définition d'une plateforme de s-maintenance concrétisant le concept de s-maintenance s'impose ainsi: « Une plateforme de s-maintenance est un système collaboratif et distribué basé sur l'ingénierie des connaissances fournissant des services dynamiques et des services à la demande selon les exigences de ses utilisateurs, grâce à des fonctionnalités d'autogestion des processus de maintenance et d'auto-apprentissage ».

Il est à noter que les services dynamiques sont des services évolutifs ayant la capacité d'adapter leurs comportements aux différents contextes d'utilisation. Ainsi, ce système est basé sur l'ingénierie des connaissances. Il prend appui sur la sémantique de la connaissance experte du domaine de maintenance, et il a la possibilité de faire évoluer son degré d'intelligence. A cette fin, Karray l'utilise comme cœur de la plateforme d'un système à base de connaissances permettant, d'inférer une nouvelle connaissance et de l'exploiter à partir d'une ontologie du domaine de maintenance. Figure 1-8, montre la relation d'inclusion entre les plateformes de maintenance, d'e-maintenance et de s-maintenance et définit à partir de chaque concept leurs caractéristiques.

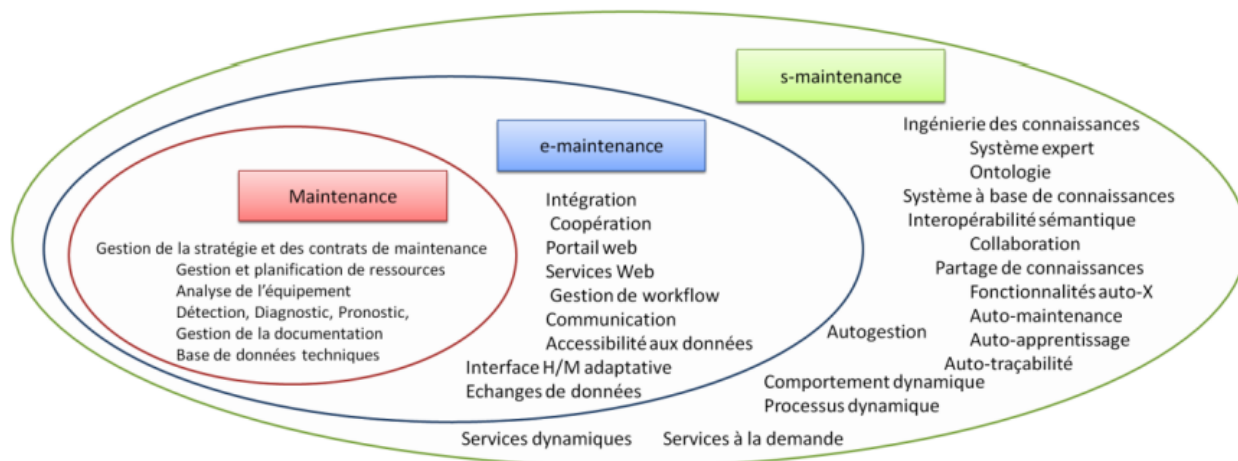


Figure 1-8 Inclusion des fonctionnalités dans les plateformes de maintenance, e-maintenance et s-maintenance (Karray, 2012)

la plateforme de s-maintenance englobe les fonctionnalités de la plateforme de e-maintenance, et transforme un outil d'intégration en un acteur intelligent au cœur du processus de maintenance.

En outre, les services fournis par un système de maintenance ou d'e-maintenance sont inclus dans un système de s-maintenance, comme indiqué dans Figure 1-8.

Ces systèmes informatiques de maintenance fournissent des fonctionnalités à valeurs ajoutées pour les opérateurs de maintenance. Nous nous intéressons au problème de réutilisation des connaissances et de consultation de nouveaux indicateurs dans le cadre d'un système de maintenance traditionnel, de e-maintenance et de s-maintenance.

Elle n'est possible ni dans une GMAO, ni dans le cadre d'une plateforme de e-maintenance, car il n'existe aucun module spécifique, sur l'expertise demandée, n'est censé être intégré dans ces outils logiciels. Ceci étant dû au non formalise des connaissances. Par contre les fonctionnalités de la plateforme de s-maintenance de management de connaissances (exploitation de l'ontologie, auto-apprentissage, etc.) permettent d'obtenir de nouvelles connaissances pouvant être réutilisées par les nouveaux arrivants.

Dans la plateforme s-maintenance, nous nous intéressons aux deux services liés avec le diagnostic « la gestion d'alarme et la sélection d'experts ». L'objectif est de montrer le manque d'autres fonctionnalités avec IMAMO. Grâce au service de gestion des experts en fonction de corrélation des alarmes que la plateforme fournisse, le manager du maintenance peut planifier ses tâches de manière automatique en utilisant la base de connaissance de la plateforme. La plateforme grâce à son moteur de sélection lui fournit la planification la plus cohérente en fonction du temps et coût.

1.2.2. Le rôle de l'ontologie dans la s-maintenance

Les ontologies ont une terminologie bien définie dont la sémantique n'est pas ambiguë (Guarino, 1998) grâce à une représentation formelle et explicite d'une compréhension commune des concepts du domaine et des relations entre ces concepts.

Dans l'approche basée sur l'ontologie, les significations des terminologies proposées et les propriétés logiques des relations sont spécifiées par des définitions et des axiomes ontologiques dans un langage formel (Karray, Chebel-Morello, & Zerhouni, 2012).

En effet, une ontologie fournit (Mizogouchi & Bourdeau, 2004) : 1) une structure conceptuelle de base à partir de laquelle il est possible de développer des systèmes à base de connaissances qui soient partageables et réutilisables, 2) une interopérabilité entre les sources d'informations et de connaissances.

L'ingénierie ontologique succède à l'ingénierie des connaissances, et l'on s'attend à ce qu'elle devienne une technologie-clé pour la prochaine génération des technologies de traitement des connaissances.

Par rapport à notre contexte qui porte sur un domaine particulier, nous nous concentrons sur une ontologie de domaine pour la maintenance. La spécificité de cette ontologie est la réutilisation des connaissances et leur enrichissement au cours du cycle de vie d'un processus de maintenance. Ainsi, le modèle d'ontologie devrait contenir des définitions de tous les objets de l'application dans ce domaine (par exemple : diagnostic, opérateurs, expert, équipement ou documentation), ainsi que les contraintes et les relations entre les objets et les organiser. Ce partage des connaissances par le biais de l'ontologie permet à chaque application intégrée dans la plateforme s-maintenance d'exploiter ces connaissances en parallèle avec ses connaissances internes et spécifiques. En outre, les méthodes de raisonnement qui peuvent être appliquées à l'ontologie lui fournissent une valeur ajoutée grâce à leur capacité de déduire de nouvelles connaissances. La plateforme offrira donc à ses acteurs ces valeurs ajoutées, toujours dans le but de fournir la bonne information au bon format pour les bonnes personnes pour faire les bonnes choses au bon moment grâce à l'interopérabilité sémantique entre les applications et les acteurs ainsi que l'exploitation et la réutilisation des connaissances partagées. Cette ontologie est une partie prenante du composant « Base de connaissances ».

1.3. Ontologie dans la maintenance

1.3.1. Définition

En 1991, suite aux travaux sur l'intelligence artificielle, (Neches et al., 1991) propose la première définition de l'ontologie : « Une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine ainsi que les règles qui indiquent comment combiner les termes et les relations de façon à pouvoir étendre le vocabulaire ». Cette définition est enrichie par (Calero, Ruiz, & Piattini, 2006) : « Un vocabulaire d'un domaine spécifique représente des éléments conceptuels et les relations existants entre ceux-ci ».

Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances, la définition la plus usuelle de la notion d'ontologie a été fournie par Thomas Gruber au début des années 90 « Une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation » (Gruber, 1993). Dans le cadre du partage des connaissances cette définition peut être précisée : une ontologie est « une conceptualisation explicite d'un domaine de discours, et fournit ainsi une compréhension commune et partagée du domaine » (Gruber, 1995).

Smith (B. Smith, 2003) rapproche davantage les deux concepts, philosophique et informatique, en montrant les bénéfices du concept pour l'autre et vice versa. Le concept s'introduit donc dans les systèmes informatiques et donne lieu à bons nombres de travaux sur la construction, la méthodologie, l'utilisation et l'intérêt des ontologies dans l'ingénierie de la connaissance.

D'une manière plus spécifique à l'informatique, une ontologie se définit comme une spécification de la conceptualisation d'un domaine. Dans ce travail de thèse, le domaine est celui de la santé, de la sécurité et de l'environnement. La définition retenue est: "Domain ontologies: Describe the vocabulary related to a generic domain (for example, information systems or medicine), by means of the specialization of the introduced concepts of high-level ontologies" (Calero et al., 2006).

L'ontologie peut être un composant de la mémoire, composant destiné à être exploré par l'utilisateur final : il faut alors associer aux concepts et relations de l'ontologie des définitions en langue naturelle ou les relier à des textes explicatifs, compréhensibles pour un utilisateur humain. D'autre part, le contenu de l'ontologie doit être adapté aux tâches des utilisateurs (au niveau granularité, degré de détail, degré de visibilité). L'ontologie peut être aussi être une référence pour indexer ou annoter sémantiquement les ressources de la mémoire (d'entreprise) à des fins d'amélioration de la recherche de ressources ou d'information dans la mémoire. Dans ce cas, l'ontologie devra comprendre les concepts importants pour l'annotation (par exemple Train, Traction, Tâche, Département...), de façon à permettre d'annoter les ressources de mémoire. L'ontologie peut être une base pour la communication et l'échange d'informations entre des programmes ou entre des agents logiciels. Dans ce cas, l'ontologie doit être formelle (avec une signification précise, non ambiguë) et représentée dans le langage formel des messages échangés par ces agents.

Enfin, et contrairement aux approches basées sur les connaissances traditionnelles, par ex. langages de spécification formels, les ontologies semblent bien adaptées à une approche évolutive de la spécification des exigences et des connaissances du domaine (Wouters, Deridder, & Van Paesschen, 2000). De plus, les ontologies peuvent être utilisées pour prendre en charge la gestion des exigences et la traçabilité (Decker, Rech, Ras, Klein, & Hoecht, 2005). La validation automatisée et la vérification de la cohérence sont considérées comme un avantage potentiel par rapport aux approches semi-formelles ou informelles ne fournissant aucun formalisme logique ou théorique du modèle. Enfin, la spécification formelle peut être une condition préalable réalisant des approches basées sur des modèles dans la phase de conception et de mise en œuvre.

1.3.2. Typologies des ontologies

Figure 1-9 représente les différentes ontologies selon le champ d'application (Calero et al., 2006).

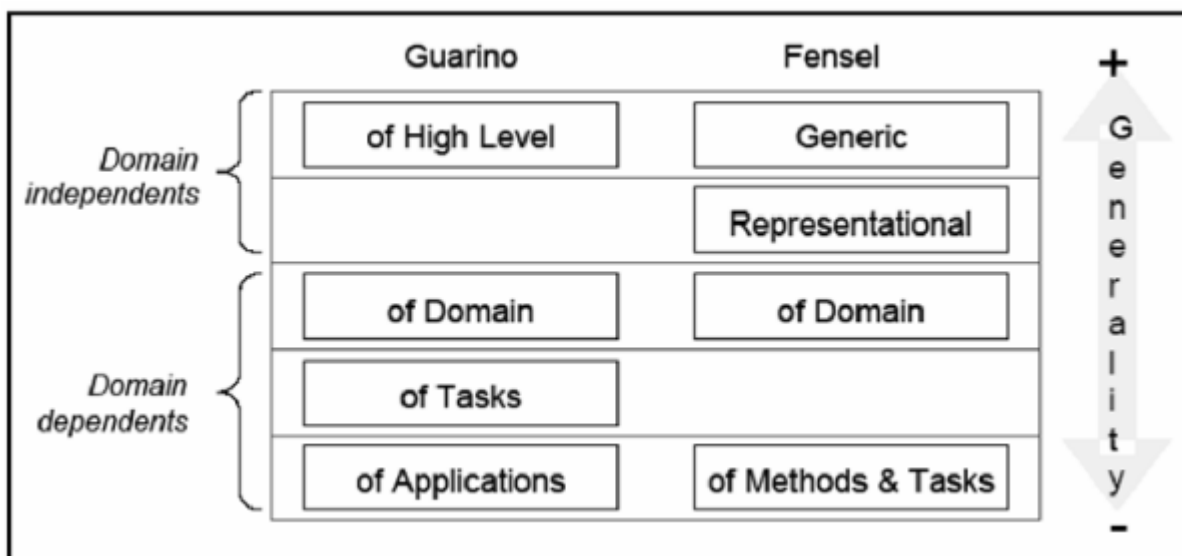


Figure 1-9 Types d'ontologies selon le niveau de généralisation (Calero et al., 2006)

Il existe de nombreux autres types d'ontologies, cependant, Uschold et Jasper (Uschold & Jasper, 1999) proposent la caractérisation suivante: « Une ontologie peut prendre diverses formes, mais elle inclura nécessairement un vocabulaire de termes et une spécification de leur signification. Cela inclut des définitions et une indication de la façon dont les concepts sont interdépendants qui imposent collectivement une structure au domaine et limitent les interprétations possibles des termes ».

De même, il est possible de classer les ontologies selon plusieurs domaines :

- l'objet de conceptualisation,
- le niveau de détail,
- le niveau de complétude,
- le niveau de formalisme de représentation.

Chaque domaine contient un certain nombre de types d'ontologies.

1.3.2.1. Selon l'objet de conceptualisation

Cette typologie est l'une des représentations les plus citées. Il est à considérer quatre niveaux selon le degré de conceptualisation :

- Ontologie de haut niveau (Top-level ontologies) : Elles ont pour but de définir la connaissance la plus large possible, c'est-à-dire qu'elles contiennent des concepts généraux. Elles sont réutilisables d'un domaine à un autre et permettent de réduire l'ambiguïté de la base de l'ontologie. Il existe un certain nombre d'ontologies de ce type,

les plus connus étant l'ontologie du projet Cyc (projet d'intelligence artificielle visant à développer une ontologie globale et une base de connaissance générale, lancé en 1984 par Douglas Lenat) et du projet Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) qui ont tous deux pour but de définir la connaissance générale du monde. Dans ces ontologies, il est rare de trouver des individus, le but n'est que de proposer une hiérarchie des connaissances. Dans le cadre de ce travail de recherche, il est à noter l'existence du projet Legal Knowledge Interchange Format (LKIF) (Hoekstra, Breuker, Di Bello, & Boer, 2009), une ontologie de haut niveau définissant la base du droit, cette ontologie est présentée plus en détail dans le paragraphe « Ontologies existantes du domaine ».

- Ontologie de domaine : S'il est à considérer une hiérarchie des ontologies, il est possible de décrire une ontologie de domaine comme une spécification d'une ontologie de haut niveau. Ces ontologies s'évertuent à préciser des domaines particuliers et peuvent être rattachées aux ontologies de haut niveau par un ou un ensemble de concepts de l'ontologie de haut niveau.
- Ontologie de tâches : Elles sont utilisées pour décrire les concepts permettant la résolution de problème d'activités spécifiques. Elles contiennent des termes et relations permettant de décrire les solutions de problèmes. A noter que ces ontologies sont indépendantes du domaine.
- Ontologie d'applications : Un niveau plus précis encore est spécifié dans l'ontologie d'applications, ces ontologies décrivent de manière précise les activités spécifiques à un domaine d'application. Il est possible de considérer ces ontologies comme une union entre les ontologies de tâches et les ontologies de domaine.

1.3.2.2. Selon le niveau de détail

Selon la précision apportée dans l'ontologie, il est possible de définir deux types d'ontologies en rapport direct avec le détail apporté dans la description des ressources.

- Granularité large : Les ontologies de haut niveau ont une granularité large, compte tenu de la nature des informations décrites, la précision est très faible dans la profondeur de description.
- Granularité fine : Au contraire du type précédent, ces ontologies sont très détaillées ou possèdent un vocabulaire plus riche permettant une description plus précise en utilisant par exemple les termes spécifiques aux activités recensées. Un fort engagement sémantique est intrinsèque à ce genre d'ontologies.

1.3.2.3. Selon le niveau de complétude

Selon le niveau de complétude, trois types d'ontologies sont généralement considérés.

- Niveau sémantique : les concepts de ces ontologies respectent quatre principes différentiels : Communauté avec l'ancêtre, différence par rapport à l'ancêtre (spécification), communauté avec les concepts de même niveau, différence avec ces concepts de même niveau.

- Niveau référentiel : Outre les spécifications énoncées au niveau sémantique, les concepts référentiels sont caractérisés par un terme dont la sémantique est définie par une extension d'objets. L'ontologie décrit les objets du domaine qui sont associés aux concepts. Ainsi, deux concepts référentiels sont identiques s'ils possèdent la même extension.
- Niveau opérationnel : En plus des spécifications énoncées ci-dessus, les concepts de ce niveau sont caractérisés par les opérations applicables permettant de générer des inférences.

1.3.2.4. Selon le niveau de formalisme

Quatre types d'ontologies sont proposés :

- Ontologies informelles : Elles utilisent un langage naturel.
- Ontologies semi-informelles qui utilisent un langage naturel structuré et limité.
- Ontologies semi-formelles qui utilisent un langage artificiel défini formellement.
- Ontologies formelles : Elles utilisent un langage artificiel défini formellement.

Ces différents types d'ontologies sont utilisés en fonction du domaine d'application et surtout selon la finalité de l'ontologie.

1.3.3. Méthodes de formalisation des connaissances

Il existe un grand nombre de méthodologies de construction d'ontologies, chacune ayant un objectif et des principes différents. L'absence de textbook ainsi qu'une proposition de méthode générique ralentissent les travaux inter-ontologie. Chaque ontologie pouvant être construite selon une méthode particulière, il peut être difficile de lier plusieurs ontologies entre elles, dans un but de leur réutilisation par exemple. La méthode se définit par les processus, les étapes, la définition de la conceptualisation ainsi que le résultat. Le nombre de méthodes de construction s'explique aussi par l'objectif final de chaque ontologie, en effet, une ontologie étant créée pour un besoin donné, une méthode de construction peut être justifiée par ce besoin.

De manière générale, toutes les méthodes de construction proposent une construction en deux étapes :

- une étape de formalisation des connaissances (ontologie conceptuelle)
- une étape d'opérationnalisation des connaissances (ontologie computationnelle).

Il s'agit de présenter quelques méthodes sans engagement d'exhaustivité, les méthodes de construction automatique (Blomqvist, 2009; Jung, Oh, & Jo, 2009).

- SENSUS

Cette méthode (Swartout, Ramesh, Knight, & Russ, 1997) propose de construire une ontologie d'un domaine à partir d'une ontologie de plus haut niveau. Elle propose de définir des relations entre les termes spécifiques du domaine et les termes généraux puis

supprimer les termes qui ne sont pas pertinents pour l'utilisation de l'ontologie. La base de cette méthode est centrée sur la réutilisation de l'existant, plutôt utilisée dans le cadre de construction d'ontologie conceptuelle à but de formalisation de portée « universelle ». L'ontologie Sensus, développée selon cette méthode propose une définition de plus de 50 000 concepts organisés de manière hiérarchique, selon le niveau d'abstraction. Cette ontologie couvre des concepts de haut et moyen niveau en vue de proposer une base commune à tout projet de construction de connaissances.

- Uschold et King

Cette méthode (Uschold & King, 1995) est composée de quatre étapes :

- Identification des objectifs et du contexte de l'ontologie : Définir pourquoi la construction de cette ontologie, dans quel but et les utilisateurs possibles de l'ontologie.
- Construction de l'ontologie, divisée en trois activités (capture, codage et intégration d'ontologie). Le capture de l'ontologie concerne l'identification des concepts, relations et en déduire les définitions précises puis identification des termes spécifiant les concepts. Pour le codage, c'est la représentation explicite de la conceptualisation en classes, entités, relations et écriture dans un langage formel comme les langages OWL ou OIL par exemple. La dernière activité est l'intégration d'ontologies existantes, comment utiliser des ontologies existantes, cette étape peut se faire en parallèle de la capture ou du codage.
- Evaluation de l'ontologie, cette partie consiste à la mise en l'épreuve de l'ontologie en la mettant en scène vis à vis des objectifs pour lesquels cette ontologie existe.
- Documentation de l'ontologie, il est nécessaire de documenter le travail effectué, ceci, en premier lieu afin de mieux faire accepter l'outil mais aussi dans un souci de maintenance.

- La méthode de Bachimont

Bachimont Bruno a conçu une méthode qui propose de contraindre l'utilisateur à un engagement sémantique au travers d'une normalisation des termes utilisés dans l'ontologie. Ces signifiés contextuels doivent être normés, ce qui nécessite à fixer une signification pour un contexte de référence, celui de la tâche (application) pour laquelle l'ontologie est élaborée (Bachimont, 2000).

Cette méthode établit donc un parallèle avec la linguistique, les données n'étant que des expressions linguistiques de connaissances.

Cette méthode se décline selon trois étapes :

- Normalisation sémantique : L'utilisateur choisit les termes et doit les normaliser en définissant les propriétés et en exprimant les différences par rapport au voisinage proche. Une notion se justifie par rapport au voisinage et à la différence avec la notion père et les notions frères.
- Formalisation des connaissances : Cette étape consiste à supprimer les ambiguïtés sur les notions dans l'ontologie. Il est parfois nécessaire d'ajouter des concepts, des propriétés ou des axiomes.

- Opérationnalisation des connaissances : Il est nécessaire d'utiliser un langage opérationnel de représentation des connaissances possédant les caractéristiques permettant de répondre aux besoins liés à l'utilisation de l'ontologie.

- **METHONTOLOGY**

Cette méthode (Fernández-López, Gómez-Pérez, & Juristo, 1997) suit plusieurs étapes :

- Identification du processus de développement de l'ontologie,
- Cycle de vie basé sur l'évolution de prototypes,
- Techniques de gestion de projet, de développement et activités de support.

Methontology suit les techniques de gestion de projet. Dès lors, l'ontologie est une finalité de la méthode, de l'identification au suivi de la formalisation proposée.

Dans cette méthode, cinq phases de développement sont définies :

- Spécification : Quel est l'objectif de l'ontologie, quels sont ses utilisateurs finaux et son dimensionnement ?
- Conceptualisation : C'est la phase la plus importante dans la construction. Cette phase traite de l'organisation de la connaissance, allant de la définition des termes candidats à la définition des instances.
- Formalisation : la traduction des connaissances sous la forme d'une ontologie.
- Implémentation : la traduction de l'ontologie en un langage informatique spécifique aux ontologies tels que les langages OWL ou RDF.
- Maintenance : Cette phase s'inscrit dans la notion de cycle de vie des ontologies, il s'agit de la correction et la mise à jour de l'ontologie.

- **METHODE DE STANFORD**

Cette méthode, développée par l'université de Stanford (Noy & McGuinness, 2000), à qui on doit déjà l'outil Protégé se décompose en sept étapes :

- Déterminer le domaine et la portée de l'ontologie,
- Réutiliser des ontologies existantes,
- Enumérer les termes importants de l'ontologie,
- Définir les classes et la hiérarchie,
- Définir les propriétés des classes, leurs attributs,
- Définir les facettes des attributs,
- Créer des instances des classes dans la hiérarchie.

Ces différentes étapes sont réalisées en se posant des questions telles que pour la première étape :

- Quel est le domaine que couvrira l'ontologie ?
- Dans quel but ?
- A quel type de questions l'ontologie va devoir fournir des réponses ?
- Qui va utiliser et gérer la maintenance de l'ontologie ?

Cette méthode est la méthode retenue dans le cadre de ce travail de recherche. Sa démarche est apparue claire et rigoureuse. Le lien avec l'outil Protégé est aussi un atout important. Cette méthode se rapproche d'un guide d'utilisation, idéal pour cerner les différents attributs d'une ontologie.

1.3.4. Langages des ontologies

Il est possible de considérer deux types de langages :

- les langages dits traditionnels.
- les langages issus du web sémantique.

Il existe un certain nombre de langages dits traditionnels, en raison de leur impact et leur utilisation modérée dans le domaine, par la suite une brève description de quelques-uns d'entre eux :

Ontolingua : Utilisé avec l'outil Ontolingua Server, le langage représente la connaissance modélisée sous la forme de schémas et de logique du premier ordre. L'outil associé permet la création, la modification et l'utilisation d'ontologies de manière collaborative. Le langage est basé sur le langage Knowledge Interchange Format (KIF), langage majoritairement utilisé pour le partage de connaissances entre les systèmes.

Loom : Loom est un langage et un environnement destiné à la construction d'applications « intelligentes ». La base est un système de représentation des connaissances utilisé pour représenter des règles, des faits, et des définitions de ressources.

Cycl : Utilisé principalement pour la construction de l'ontologie Cyc (Lenat, 2006). Le langage est basé sur la logique de premier ordre agrémenté de certaines fonctionnalités afin d'offrir une meilleure expressivité.

Majoritairement utilisés de nos jours, les langages issus du web sémantique interviennent dans la proposition de l'évolution du web. Selon Tim Berners-Lee, le web, principalement syntaxique, puisque destiné à être lu par des humains, devient de plus en plus sémantique en vue de l'interconnexion des données (Berners-Lee & Fischetti, 1999). Dans cette optique, Tim Berners-Lee propose une nouvelle infrastructure du web ajoutant quelques couches dans l'architecture du web actuel :

En premier lieu, l'ajout du protocole Universal Resource Identifier (URI) qui renseigne un identifiant unique et universelle de toute ressource. Ensuite, est ajoutée la couche eXtensible Markup Language (XML) en tant que format standard d'échange. Le XML est un méta-langage proposé par le W3C qui intervient afin de permettre de structurer les informations dans un format logique et standardisé. Le XML est utilisé en vue de décrire de la donnée et non afin de mettre en forme cette donnée. Une limite du langage XML est qu'il ne permet pas d'exprimer la sémantique d'une notion, ainsi, une troisième couche est ajoutée contenant les langages Ressource Description Framework (RDF) et RDF Schema (RDFS) qui permettent l'annotation des ressources du web. Le but de ces langages est de faire l'interface entre le langage humain et le langage informatique. Annoter les ressources permet de transmettre le sens des ressources décrites aux systèmes d'information.

En dernier lieu, la couche du langage Ontology Web Language (OWL) est ajoutée. Cette couche, en plus du langage OWL, contient des langages de requêtes et de règles tels que SPARQL et le Semantic Web Rule Language. Ces langages venant étendre les possibilités d'échange entre les systèmes (MARMIER, 2007).

1.3.4.1. Ontology Web Language (OWL)

- Généralités

Bien que d'autres langages aient apporté des solutions aux limites expliquées précédemment sur RDF/RDFS, le langage OWL est, depuis 2004, le standard défini par le W3C pour la construction d'ontologies. Il ne faut pas considérer OWL comme une simple extension de RDF, le langage permet de définir les connaissances en ajoutant toute la sémantique utile.

Une classe peut être complètement définie au travers de ce langage, RDF ne permettant pas certaines descriptions. Ainsi, le langage est plus expressif et surtout plus fin que RDF. Une particularité de OWL est qu'il est sous divisé en 3 langages utilisés selon le degré d'expressivité désiré. OWL-Lite, OWL DL, OWL Full.

- Les sous langages

Les trois langages sont utilisés selon l'objectif final de l'ontologie créée :

- OWL Lite : Il ajoute un certain nombre de descripteurs à RDF, il ajoute la notion de class (owl:Class), des notions simples de contraintes telle que la cardinalité (owl:minCardinality – utilisation de booléen) et des notions d'équivalence (owl:sameAs). Ce langage offre le grand avantage d'être le plus simple. Ce langage est basé sur la logique de description SHIQ.
- OWL DL (pour Description Logic) : offre de nouveaux descripteurs, donc une meilleure expressivité que OWL Lite. Il propose les mêmes descripteurs que OWL Lite et garde les raisonnements proposés. Les notions de contraintes de cardinalité sont améliorées permettant l'utilisation de n'importe quel entier et non plus un booléen. De plus, la description des classes est améliorée proposant des clés telles que owl:unionOf ou owl:intersectionOf.
- OWL Full : C'est le sous langage OWL le plus complexe et le plus complet en terme d'expressivité. Contrairement aux deux précédents sous langages, celui-ci n'a aucune restriction sur la définition des classes.

1.3.4.2. Semantic Web Rule Language

SWRL permet la définition de règles explicitant des comportements à suivre en fonction des informations. Le but est de créer une nouvelle information d'une information existante, une observation. Dans le domaine des ontologies, une règle est une instruction conditionnelle simple du type « SI condition ALORS conséquence ». Ce langage de règles puissant fait l'objet d'intégrations dans de nombreux outils actuels tels que Protégé ou OWL API.

1.4. Processus de diagnostic

La gestion des pannes s'agit des fonctions que les normes définissent sous le terme «gestion des anomalies». La détection d'une panne est indispensable pour que le système de maintenance et de reconfiguration puissent se réaliser et laisser un équipement dans un état fonctionnel. En outre, la détection et l'analyse rapide d'un dysfonctionnement des défaillances des équipements permettent d'arrêter la propagation de ses conséquences par une intervention efficace et rapide. En général, la gestion des pannes suit les étapes suivantes :

- **Détection** : l'opérateur se rend compte d'un problème sur un équipement (apparition d'une panne); afin de détecter les défaillances des équipements, il y a un système de surveillance SCADA, qui permet d'observer les situations normales ou bien anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant donnée le manque d'information qui caractérise généralement une anomalie. Une simplification communément adoptée consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale.
- **Diagnostic** : il recherche la nature du problème ; l'objectif de la fonction diagnostic est de rechercher les causes et de localiser les composants défaillants. A partir de la détection d'une panne, la fonction diagnostic est chargée de retrouver l'imperfection qui en est à l'origine. Ce problème est difficile à résoudre. Une défaillance peut généralement être expliquée par plusieurs hypothèses. Il s'agit alors de confronter les grandeurs de mesure pour fournir la bonne explication.
- **Réparation** : il commande une intervention si nécessaire.

1.4.1. Alarmes

Une alarme désigne un symptôme de dysfonctionnement ou de déviation, elle est observable et peut être associée à plusieurs pannes. Les alarmes peuvent se propager. c-à-d qu'une signalisation faite par un élément de réseau va déclencher potentiellement d'autres signalisations.

1.4.2. Pannes

Une panne désigne un dysfonctionnement ou une déviation de bon fonctionnement. Elle n'est pas observable directement mais provoque plusieurs alarmes dispersées dans le système. État d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures peuvent être provoquées par un facteur externe au bien ou par un manque d'entretien (AFNOR, 2001). Il est possible que la remise en fonctionnement de l'équipement nécessite l'intervention d'un opérateur ainsi le remplacement de composants. Cela définit une autre notion qui est celle de la maintenabilité.

Maintenabilité (AFNOR, 2001) : dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état fonctionnelle pour qu'il peut accomplir une fonction requise.

Donc il y a une relation directe entre les trois termes avec différent niveau de criticité, un défaut est donc le premier signe d'un système dans un état anormal. La défaillance fait suite à un défaut, elle représente donc l'altération ou la cessation d'un ensemble à accomplir sa fonction, il sera donc considéré en état de panne.

1.4.3. Superviser

Un système de supervision est un terme général qui englobe plusieurs types de systèmes de contrôle et d'instrumentation associés utilisés pour le contrôle des procédés industriels. De tels systèmes peuvent aller de quelques contrôleurs modulaires montés sur des panneaux à de grands systèmes de contrôle distribués interconnectés et interactifs avec plusieurs milliers de connexions sur site. Tous les systèmes reçoivent des données reçues de capteurs distants mesurant les variables de procédé (PV), les comparent aux points de consigne désirés et dérivent des fonctions de commande qui sont utilisées pour contrôler un processus par les éléments de commande finaux (FCE), tels que les vannes de régulation. Les plus grands systèmes sont généralement mis en œuvre par des systèmes de supervision et d'acquisition de données (SCADA) ou des systèmes de contrôle distribués (DCS) et des automates programmables (PLC), bien que les systèmes SCADA et PLC soient évolutifs vers de petits systèmes avec peu de boucles de contrôle (Tsang, 2010). De tels systèmes sont largement utilisés dans des industries telles que le traitement chimique, la fabrication de pâtes et papiers, la production d'énergie, le traitement du pétrole et du gaz et les télécommunications.

La supervision s'effectue sur l'ensemble composé du système. Superviser c'est être capable, à partir des alarmes :

- d'être au courant de l'état de fonctionnement de chacun des équipements ;
- d'observer l'évolution du système au cours du temps. Le raisonnement de supervision s'effectue essentiellement sur les alarmes.

En effet, lorsqu'un composant tombe en panne, il émet une alarme et lorsqu'il repasse en état de fonctionnement, il réémet une alarme : suivre son évolution semble donc relativement simple. Néanmoins, la supervision est sujette à certaines difficultés.

– Les alarmes parasites. Les alarmes significatives sont <noyées> dans un flot d'alarmes qui peuvent être traduites par le fonctionnement normal ou bien anormale du système. La première difficulté de la supervision est donc de distinguer entre les différents types d'alarmes et retrouver la conséquence de dysfonctionnements.

– Le masquage d'alarme. Lorsqu'un équipement tombe en panne, il émet une alarme. Mais il y a des cas où l'alarme n'arrivera pas au superviseur. En effet, pour qu'une

alarme soit transférée au superviseur, elle doit être transitée par un certain nombre de composants. Il est possible que l'un des composants ne soit pas en bonne situation pour la retransmission. L'alarme est dite masquée. Ce phénomène de masquage rend incomplet l'ensemble des alarmes reçues par le superviseur. Le phénomène de masquage est la difficulté principale du problème de supervision.

– La perte d'alarme. Si plusieurs alarmes arrivent en même temps sur un même composant, elles sont stockées dans des tampons. La taille de ceux-ci est limitée. Au-dessus d'un certain seuil, les alarmes arrivant sont perdues.

Ces phénomènes de masquage et de perte peuvent se produire pour plusieurs raisons, liées à l'occurrence de certaines pannes.

– Les pannes multiples. Dites pannes multiples lorsque plusieurs pannes ont des effets qui se chevauchent dans le temps. Une occurrence de panne est associée à un début et à une fin d'occurrence. Le phénomène de pannes multiples est signalé lorsque les intervalles de début et de fin de pannes se chevauchent dans le temps. Le fait que des pannes peuvent se produire en même temps peut conduire à un phénomène de masquage.

– Les pannes corrélées. Les pannes corrélées ont lieu à cause du phénomène de propagation des pannes. Les pannes corrélées peuvent produire des cascades d'alarmes pouvant être sujettes à des pertes.

1.5. Méthodes de diagnostic à l'aide d'informations

Dans le domaine du diagnostic de systèmes complexes, deux grandes approches sont décrits. La première est l'approche à base de connaissance, où le comportement du système est connu et est comparé à celui du système (de Kleer, 1987; Reiter, 1987). La connaissance peut être représentée à partir de modèles ou de règles. Il peut s'agir de la connaissance du fonctionnement normal et dysfonctionnement du système. La seconde, celle qui nous intéresse dans ce travail de thèse, est l'approche utilisant un historique de données. Dans cette partie, après un bref tour d'horizon des techniques de diagnostic à base de modèle utilisant les données binaires, nous nous concentrerons sur les méthodes de diagnostics à partir de données, en se focalisant plus particulièrement sur les alarmes comme source principale d'information.

1.5.1. Méthodes de diagnostic à base de connaissances

1.5.1.1. Les systèmes experts

Dans le domaine du diagnostic à l'aide de connaissances, les systèmes experts appartiennent au paradigme de l'intelligence artificielle (Liao, 2005). La connaissance est retranscrite sous forme de règles simples et où le diagnostic est réalisé à l'aide d'un moteur d'inférence qui, en fonction des règles, réalise le diagnostic à l'aide d'un

raisonnement adductif. Ces règles peuvent être extraites à partir de la connaissance d'un expert du système. Plusieurs exemples d'applications de ces systèmes experts sont traités dans (Al-Taani, 2007; Bernard & Duroche, 1993; Qian, Xiuxi, Yanrong, & Yanqin, 2003). Elles peuvent aussi être extraites de différentes sources comme les manuels de spécifications ou même de données provenant de la machine (Tan, Kirschen, & Goody, 2000). La limite de ces méthodologies est l'accès aux connaissances et aux règles. En effet, elles nécessitent une grosse implication de l'expert du système qui, la plupart du temps, n'est pas disponible. De plus, il est difficile d'exprimer les règles de façon exhaustive et le raisonnement peut parfois être opaque.

1.5.1.2. Diagnostic à base de modèles

- Approche de bon fonctionnement

Un modèle de bon fonctionnement représente le comportement du système sans défaut. Les entrées/sorties mesurées du système sont utilisées afin de les comparer à celles générées par le modèle. Tout écart entre les données et le modèle constitue un symptôme. Les méthodes avec un modèle de bon fonctionnement sont principalement utilisées dans le but de détecter l'apparition d'un défaut (Roth, Lesage, & Litz, 2009). Les modèles utilisés peuvent être de différents types : les automates à états finis, par exemple, sont utilisés dans (Pandalai & Holloway, 2000) pour modéliser un système de convoyeur, les séquences d'évènements doivent dans ce cas être respectées (avec des contraintes temporelles) pour considérer le système en bon état de fonctionnement. Sur le même principe, il existe de nombreux autres types de modèles dans la littérature parmi lesquels les plus utilisés sont les réseaux de pétri qui présentent l'avantage d'avoir une représentation graphique et mathématiques (Boufaied, 2003; Giua & Seatzu, 2001; Hashtrudi Zad, Kwong, & Wonham, 1999). Bien que les modèles de bon fonctionnement soient majoritairement utilisés pour détecter un défaut, il existe dans la littérature des méthodologies qui proposent également de rechercher la source du défaut. (Reiter, 1987) propose une formalisation de la modélisation des systèmes et une modélisation à l'aide de relation logique du premier ordre. Le diagnostic est effectué en comparant le modèle avec les observations faites sur le système, l'identification du composant avec un fonctionnement anormal est déduite. En recherchant quel composant, cela peut mener à cet état de défaut, en accusant tour à tour les composants et en comparant la sortie du modèle à l'état du système. Le diagnostic est réalisé de façon similaire lorsque des modèles MFM "Multilevel flow model" sont utilisés. Les MFM sont des modèles principalement utilisés dans le but du diagnostic introduit par (Lind, 1994). Le système est modélisé sous forme de « buts » et de « fonctions » du système, ces fonctions sont réalisées par des composants et elles sont reliées par des flots de matière, énergie, fluide.

- Approche de mauvais fonctionnement

Le diagnostic peut également être réalisé à l'aide de modèles incluant les défauts. Dans ce cas, les séquences d'évènements du système réel sont directement comparées aux modèles contenant les défauts. Comme avec les méthodes sans défaut, ces modèles peuvent prendre de nombreuses formes qui trouvent d'ailleurs leur équivalence dans ceux des modèles sans défaut. Une liste non exhaustive des différents types de modèles les plus communément utilisés dans la littérature :

- Le réseau de pétri est un outil de représentation efficace pour des systèmes à évènements discret (Cabasino, Giua, Poggi, & Seatzu, 2007; Lefebvre & Delherm, 2007; Ramírez-Treviño, Ruiz-Beltrán, Rivera-Rangel, & López-Mellado, 2007; Ushio, Onishi, & Okuda, 1998) utilise un modèle de réseaux de pétri incluant les défauts afin de développer un système de diagnostic. Le diagnostic est réalisé à partir des informations rapportées par le système SCADA sur les états des différents composants.
- L'arbre de défaillances donne une représentation du défaut à l'aide de combinaisons logiques d'évènements. Le diagnostic est réalisé à partir des symptômes en parcourant l'arbre jusqu'au diagnostic final. Le lecteur peut se référer à (Geymayr & Ebecken, 1995; Hurdle, Barlett, & Andrews, 2005) pour des exemples de diagnostic à l'aide d'arbre de défaillances. Les arbres de défaillances présentent l'avantage d'être simple à lire et à comprendre. Cependant, il est difficile d'incorporer des contraintes d'ordre ou de temps dans le modèle d'arbre.
- Les chroniques sont une représentation du système à partir de séquences d'alarmes qui, à la différence des arbres de défaillance, peuvent prendre en compte des contraintes d'ordre et de temps entre les alarmes. Dans cette situation, il modélise uniquement les défauts. Le diagnostic est réalisé en ligne si une suite d'évènements est reconnue comme une chronique de défaut alors le diagnostic du défaut est réalisé (Taisne, 2006). Leur principale utilisation se trouve dans les réseaux de télécommunications (Cordier & Dousson, 2000) ou au service web (Pencolé & Subias, 2009). A noter qu'il existe des méthodes hybrides où les chroniques peuvent être extraites d'un modèle du système lorsqu'il est sous forme de réseau de pétri (Guerraz & Dousson, 2004) , ou la reconnaissance en ligne est faite à l'aide de réseau de Pétri dérivé du modèle de chronique (Pencolé & Subias, 2009).

Bien que les techniques de diagnostic à base de connaissances trouvent leur application dans de nombreux domaines, l'un de leur principal inconvénient est l'acquisition de la connaissance. L'obtention d'un modèle du système est une tâche bien souvent difficile et longue à réaliser. De plus, ces méthodes sont très fortement liées au système et sont

très sensibles à ses variations et ses évolutions. Le modèle doit être modifié à chaque changement du système. Il n'est pas aisé de développer des méthodologies génériques et chaque système nécessite son propre modèle.

1.5.2. Méthodes de diagnostic à base de données

Contrairement aux méthodes vues au paragraphe précédent, les méthodes à base de données ne nécessitent pas l'élaboration de modèles. Elles reposent sur l'expérience acquise sur le système via des historiques de données.

1.5.2.1. Corrélation d'alarmes

Avant de nous intéresser au diagnostic proprement parler, il est intéressant de regarder du côté des méthodes d'analyse d'alarmes qui sont une première étape avant le diagnostic et qui sont un moyen intéressant d'aider les opérateurs. La recherche se base sur l'interface homme-machine et la présentation de l'information à l'opérateur se focalisent notamment sur la réduction du nombre d'alarmes présentées. Le problème de diagnostic peut être traité dès la phase de conception du système de supervision (Lambert, Riera, & Martel, 1999), (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008), il convient de bien choisir les alarmes qui seront présentes dans le système de supervision, et de travailler sur les méthodes de représentation de ces alarmes. Nous pouvons aussi étudier à posteriori les alarmes lorsqu'on possède un retour de connaissances. nous regroupons sous le terme de corrélation d'alarmes les méthodes permettant une meilleure analyse et interprétation du flot d'alarmes (Gardner & Harle, 1996). L'objectif est de réduire la quantité d'informations proposée à l'opérateur en regroupant certaines alarmes (Julisch, 2001) ou en éliminant celles qui sont inutiles. Un travail de représentation peut aussi être associé au travail de suppression (S. Salah, Maciá-Fernández, & Díaz-Verdejo, 2013). La réduction du nombre d'alarmes peut être soit réalisée à l'aide d'un modèle du système, comme les modèle « MFM » (Larsson, 1994) (Tuszynski, Larsson, Nihlwing, Öhman, & Calzada, 2002). Des méthodes statistiques peuvent également être utilisées pour regrouper les alarmes (Yang, Shah, Xiao, & Chen, 2012). Ces derniers proposent une représentation sous forme matricielle de la valeur des similarités des alarmes afin d'aider à leur regroupement. Enfin les méthodes de fouille de données permettent d'extraire de l'information des alarmes afin de déterminer les séquences fréquentes et ainsi réduire le nombre d'alarmes ou de donner des priorités aux alarmes. Vue l'importance de cette méthode, notre travail est consacré à l'étude de corrélation des alarmes. Plus de détail sur le processus de corrélation est donné dans le paragraphe (1.5.3).

1.5.2.2. Diagnostic de défauts

Les données peuvent être traitées de deux manières, en prenant en compte ou non l'ordre d'apparition des événements.

- Méthodes n'utilisant pas les relations d'ordre entre événements

L'ordre d'apparition des événements n'est pas considéré comme important pour ces méthodes. Les listes d'événements (Alarmes) sont alors représentées sous forme de vecteurs

binaires. Les méthodes les plus utilisées s'appuient sur des méthodes de reconnaissance de formes. La reconnaissance de forme consiste à catégoriser un élément inconnu appelé forme. Un vecteur forme est la description d'un individu à l'aide de caractéristiques le décrivant au mieux. Dans le cas du diagnostic, les classes représentent généralement un défaut à reconnaître, et le vecteur forme est l'ensemble des alarmes. Cette méthodologie présuppose que l'on dispose d'une base de données (appelée base d'apprentissage) contenant des observations passées faites sur le système. A partir de ces données récoltées, la fonction de décision est automatiquement générée qui associe une classe à un vecteur forme, l'algorithme réalisant la classification est appelée classifieur. L'apprentissage est décomposé en deux grands groupes. Dans le premier appelé apprentissage non supervisée, la base d'apprentissage est composée d'exemples dont la classe est inconnue. Dans ce type d'approche, il s'agit de déterminer les classes en regroupant les exemples d'une même population. Le second correspond à l'apprentissage supervisé où les exemples présents dans la base d'apprentissage sont correctement classés par un expert.

Dans ce cas, le problème consiste à apprendre une fonction de décision capable de prendre la même décision que l'expert. Dans ce qui suit des exemples de diagnostic à partir de méthodes de reconnaissance de formes utilisant la classification supervisée. Les alarmes produites sur l'occurrence d'un défaut sont stockées dans un vecteur forme.

Réseau de neurones : L'une des approches populaires est le réseau de neurones artificiels et notamment le perceptron multi-couches (PMC). Un PMC est composé de plusieurs couches de neurones interconnectés. Les neurones de la première couche sont activés par les caractéristiques de l'observation, cette information est alors passée, après pondération et transformation, aux neurones de la deuxième couche, ainsi de suite jusqu'à ce que les neurones de sortie qui déterminent la classe soient activés. La structure du PMC ainsi que le nombre de couches sont à déterminer, les fonctions de pondérations sont quant à elles apprises à l'aide des données lors de la phase d'apprentissage. (Al-Jumah & Arslan, 1998) présente une méthodologie de diagnostic basée sur l'utilisation d'un PMC à 3 couches appliquée à du diagnostic de circuits électriques. (Negnevitsky & Pavlovsky, 2005) pour diagnostiquer des relais de protection dans des circuits électriques. (B. Chen, Qiu, Feng, & Tavner, 2011) utilise un PMC pour diagnostiquer des défauts sur des éoliennes à partir des alarmes SCADA.

Induction d'arbres de décision : Les arbres de décision sont une représentation graphique d'un ensemble de règles de type si-alors menant à une décision. Les feuilles de l'arbre représentent une décision (un défaut, par exemple), les nœuds de l'arbre représentent un test sur une caractéristique et les branches le résultat du test. L'induction d'arbres de décisions construit de façon automatique un arbre de décision à partir d'un ensemble d'apprentissage. Dans (Charkaoui, 2005), des arbres de décision sont construits afin de réaliser la détection et la localisation de défaillances multiples à partir des logs d'alarmes stockées dans l'ordinateur de bord de véhicules. L'apprentissage automatique de fonctions de décisions présente l'avantage de ne nécessiter aucun modèle et de reposer uniquement sur des historiques de données disponibles sur le système.

Une alternative à ces méthodes repose sur des méthodes de classification à partir de mesures de distances ou de similarités (pattern matching) où un classifieur de type « k plus

proches voisins » est utilisé. Dans (Yemini, Kliger, Mozes, & Yemini, 1996), les défauts dans des réseaux de télécommunications sont décrits sous forme de vecteur binaires au chaque élément du vecteur représente un symptôme du défaut et le diagnostic est réalisé par comparaison entre le défaut à diagnostiquer et des précédentes observations à l'aide d'une distance de Hamming. L'intérêt de ces approches par distances ou mesures de similarité est qu'elles peuvent être mises en œuvre avec un nombre restreint d'exemples par classe.

- Méthodes utilisant la relation d'ordre entre évènements

Les méthodes présentées au paragraphe précédent supposent que l'ordre d'apparition des alarmes n'a pas d'importance pour réaliser le diagnostic. Cependant, c'est une information supplémentaire qui peut être utile au diagnostic. Dans ce cas, les listes d'alarmes sont représentées par une séquence i.e. par un ensemble ordonné d'évènements ou d'alarmes où le temps séparant l'apparition de deux évènements peut aussi être pris en compte. Ces séquences peuvent correspondre à des séquences de bon fonctionnement (Budalakoti, Srivastava, & Otey, 2009) mais également à des séquences de défauts (Cheng, Izadi, & Chen, 2013).

Une première approche consiste à construire un modèle du système de manière automatique à partir des données puis à appliquer les mêmes algorithmes de diagnostic que lorsque le modèle est construit par la connaissance. Ce sont, par exemple, des chroniques représentant un défaut par une séquence d'alarmes avec contraintes temporelles. Un réseau de pétri peut également être appris d'un jeu de données d'alarmes (Lefebvre & Leclercq, 2011). D'autres modèles construits de manière empirique peuvent aussi être utilisés, comme les réseaux Bayésiens. Un réseau Bayésien représente de manière graphique les relations de cause à effet entre deux évènements. Le modèle est constitué de nœuds et d'arcs (Charniak, 1991), un nœud représente une variable et les arcs les probabilités conditionnelles entre variables. Les probabilités associées à chaque arc sont apprises à partir des données. La décision est prise en calculant le défaut le plus probable à partir des données disponibles (B. Chen, Tavner, & Feng, 2012). D'autres méthodes reposant sur des graphes probabilistes peuvent aussi être envisagées, comme les chaînes de Markov (Yamanishi & Maruyama, 2005), les modèles de Markov cachés (Ying, Kirubarajan, Pattipati, & Patterson-Hine, 2000). Ces méthodes, largement appliquées dans le domaine du diagnostic à partir de données binaires, présentent l'avantage de construire de façon automatique des modèles de défauts. Cependant, comme toutes méthodes d'apprentissage automatique, leur utilisation suppose qu'un grand nombre de données est disponible.

De plus, la recherche de motifs séquentiels reposant sur des propriétés statistiques, notamment des calculs de probabilités conditionnelles, elles nécessitent également une grande quantité d'information.

Une alternative aux méthodes d'apprentissage automatique est la comparaison de séquences d'évènements qui utilisent des mesures de similarité entre deux séquences. Cela nécessite une mesure de similarité qui permet de chiffrer la ressemblance entre deux séquences. La similarité entre séquences est utilisée dans de nombreux domaines, à titre exemple, nous trouvons l'application concernant la détection d'anomalies dans une séquence

d'évènements discrets (Chandola, Banerjee, & Kumar, 2012). Dans ces situations, le jeu de données est constitué de séquences de bon fonctionnement et l'on cherche à déterminer si la séquence à analyser est conforme à ce bon fonctionnement. Les applications concernent la détection d'intrusions dans un réseau informatique (Lu, Boedihardjo, & Manalwar, 2005), mais on trouve également un exemple portant sur l'analyse du comportement de pilotes d'avions durant un atterrissage (Budalakoti et al., 2009). La mesure de similarité entre séquences concerne aussi la recherche de mots dans un texte. On peut faire de la recherche exacte c'est-à-dire qu'on recherche exactement la même séquence de lettre (Knuth, Morris, & Pratt, 1987), ou bien une recherche approximative afin de déterminer par exemple des fautes de frappe. Un grand nombre d'algorithmes est disponible dans ce domaine (Navarro & Baeza-Yates, 1999). Enfin, la Bio-informatique est un domaine où la comparaison de séquences est très utilisée pour comparer des séquences de gènes. Dans ce cas, on ne recherche pas des séquences exactes mais des séquences similaires. Dans ces procédures, les séquences sont dans un premier lieu alignées en ajoutant ce que l'on appelle des « gaps » dans l'une et l'autre séquence afin de maximiser les concordances entre les éléments de la séquence et enfin une mesure de similarité est effectuée (T. F. Smith & Waterman, 1981). (Cheng et al., 2013) ont proposé d'utiliser l'algorithme de Smith et Waterman pour faire du clustering d'avalanches d'alarmes et déterminer si les clusters formés pouvaient être associés à des défauts particuliers.

1.5.3. Processus de corrélation d'alarmes

Le processus de diagnostic peut consulter des évènements du passé (des alarmes ou d'autres notifications) pour en déduire des propagations de pannes sous-jacentes. Le nombre des alarmes générées et l'ambiguïté des informations qu'elles portent augmentent de façon cruciale avec la taille et la complexité du système industriel. Le diagnostic des pannes est donc une tâche difficile et devient un défi très important. Dans le cas où les résultats du diagnostic ne sont pas suffisants pour la localisation et l'identification des pannes, pour les préciser ou de les confirmer, des tests peuvent être déclenchés. Les composants susceptibles d'être en panne selon les résultats du diagnostic sont alors testés par cette procédure dite < test de diagnostic >.

En fait, la notion de corrélation d'alarmes est plus générale mais l'une des tâches principales qu'elle est en mesure de résoudre le diagnostic de pannes proprement dit. Une panne est susceptible de déclencher une cascade d'alarmes. La corrélation d'alarmes est une tâche qui consiste à interpréter conceptuellement un ensemble d'alarmes afin d'en extirper une signification, une information plus riche. C'est un processus nécessaire pour gérer le volume de données produit par les différents capteurs du système et pour fournir une vue d'ensemble sur l'état de ce système. En effet, le nombre élevé des alarmes est la conséquence de plusieurs phénomènes. Les opérateurs en charge de la supervision ont ainsi la tâche de gérer un volume de données important constitué de notifications apportant un faible niveau d'abstraction. La corrélation d'alarmes pallie ces problèmes avec deux objectifs principaux qui sont (a) la réduction du nombre d'alertes et (b) la création de notifications disposant d'un niveau

d'abstraction élevé afin de proposer une vue haut niveau sur les alarmes détectées (GODEFROY, 2016).

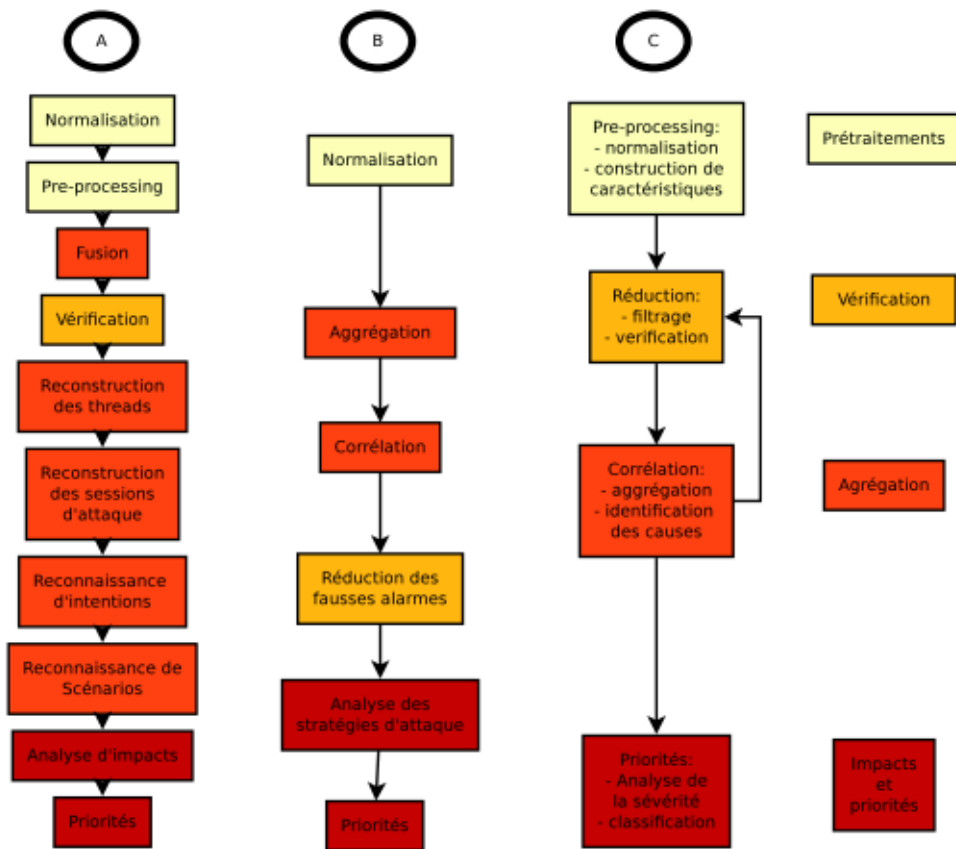


Figure 1-10 Différentes visions du processus de corrélation. A : (Valeur, 2006), B : (Sadoddin & Ghorbani, 2006), C : (Saeed Salah, Maciá-Fernández, & Díaz-Verdejo, 2013). A droite, les grandes fonctions qui ressortent dans tous ces travaux.

Une première proposition de découpage fonctionnel du processus de corrélation d'alertes est présentée dans (Zurutuza & Uribeetxeberria, 2004) où les trois parties (prétraitement, l'analyse et la corrélation) sont identifiées. Par la suite, le modèle exposé dans (Valeur, 2006) (A sur la Figure 1-10) sert généralement de référence pour le découpage du processus de corrélation en fonctions élémentaires. Ce dernier est repris et étendu dans quelques travaux (Sadoddin & Ghorbani, 2006; Saeed Salah et al., 2013) respectivement B et C sur la Figure 1-10) qui ajoutent, renomment, ou généralisent certaines étapes. Malgré les différences entre les nomenclatures utilisées par différents auteurs, il est possible de ressortir un schéma général des fonctions se présentant sous la forme suivante :

- (1) les prétraitements (normalisation et enrichissement)
- (2) la vérification (fonction d'élimination des messages)

(3) l'agrégation (fonction de création de méta-alertes)

(4) l'analyse d'impacts et attribution de priorités (fonction de mise en valeur)

De même, le processus de corrélation (en particulier les phases d'agrégation) nécessite également l'utilisation de fenêtres temporelles dans laquelle les événements sont sélectionnés pour être corrélés. La gestion de cette fenêtre peut se faire de différentes manières : fenêtre temporelle fixe, glissante, fenêtre fixée par un nombre maximal d'événements, fenêtre glissante pondérée, fenêtre à repère.

1.6. Sélection des acteurs dans le domaine industriel

1.6.1. Problématique de sélection des acteurs

Dans cette section, nous présenterons le problème de la sélection dans le domaine de la maintenance.

Plusieurs travaux de recherche dans le domaine de la maintenance ont donné une grande importance au capital humain dans les problématiques liées à la conduite des processus industriels. Ces travaux se sont intéressés au problème d'affectation de manière soit, dépendante des autres problèmes tels que les problèmes d'ordonnancement ou de planification, soit de manière indépendante. De plus, ils se sont basés sur différents critères qui caractérisent les acteurs tels que les compétences, les préférences, le degré de spécialisation dans un domaine, l'âge, etc. Donc, la ressource humaine n'est plus considérée uniquement comme une ressource consommable, caractérisée par un temps de disponibilité et une capacité, mais plutôt distinguée par l'ensemble de compétences qu'elle détient. Cette caractéristique a engendré un changement au niveau des formulations des problèmes. Il est parfois n'est pas évident pour un employé de réaliser son travail dans un nouveau contexte, même s'il est très bon dans son domaine. En effet, La rapidité de traitement d'une tâche dépendra du choix du personnel qui sera affecté.

L'application à la maintenance de méthode d'ordonnancement et d'affectation de tâche doit, tenir compte des niveaux de compétences des ressources humaines qui vont les exécuter. En conséquence, la norme ISO 9000 version standard 2005 (International Standards Office, 2004)(ISO, 2005) exige que les organisations, pour justifier les compétences des ressources humaines impliquées dans les processus, les définissent comme leur " capacité démontrée d'appliquer les connaissances et les compétences ". Une approche de gestion des ressources humaines à travers leur coût a été développée par Kane (Kane, Aït-Kadi, D'Amour, & Batiste, 2003). La diminution du coût des actions peut alors passer par la diminution de la quantité de main d'œuvre, et donc de faire en sorte que les capacités des acteurs s'adaptent à la charge. En effet, dans certaines études, les compétences ont été modélisées par analogie avec une ressource matérielle qui arrive ou non à effectuer une opération. Une telle

représentation a été principalement repérée dans les travaux qui se sont intéressés à la modélisation du problème d'affectation intégrée dans un autre problème de niveau hiérarchique plus élevé tel que le problème d'ordonnancement (Bellenguez-Morineau, 2006) ou de planification (Trilling & Guinet, 2005).

Dans d'autres études, les compétences ont été présentées sous forme de variables ordonnées selon une hiérarchie bien spécifique, résultant d'un classement de leurs niveaux respectifs. Pour cette catégorie d'études, le principe de certaines formulations du problème d'affectation s'appuie sur l'idée de trouver pour chaque tâche la meilleure ressource humaine ayant le niveau de compétence le plus élevé parmi une liste de candidats disponibles (Nasibov, 2007). Gruat La Forme et al. (Gruat-La-Forme, Botta-Genoulaz, & Campagne, 2007) ont développé une approche prenant en compte les compétences pour répartir la charge de travail. L'objectif ciblé par les auteurs revient à mieux répartir la charge de travail tout en insistant sur la nécessité de faire gagner en expérience ou de maintenir le niveau d'expérience du personnel.

La notion de niveau de compétence a été prise en compte de façon différente lors de la modélisation des problèmes d'affectation analysés par la majorité des études présentées précédemment. Cherchant toujours à mieux satisfaire les objectifs de minimisation de coût d'affectation, certaines études ont accordé une attention particulière à l'étude vigoureuse du lien entre la compétence des ressources humaines et la performance opérationnelle. Dans un atelier de maintenance, (MARMIER, 2007) privilégie l'affectation des ressources humaines les plus efficaces. Pour ce faire, il suppose la variation linéaire de la durée réelle d'une tâche selon le taux de compétence caractérisant chaque ressource humaine qui va l'exécuter. En exploitant l'idée de l'intégration des niveaux de compétences dans la formulation d'un problème d'ordonnancement de projet avec des ressources multi-compétences. Certaines études abordent le problème d'allocation dans un cadre flou. Marmier (Marmier, Varnier, & Zerhouni, 2009) suggèrent d'allouer des travailleurs aux activités de maintenance sur la base d'une compétence exprimant leur capacité à accomplir une tâche, une seule compétence agrégée est considérée pour chaque tâche. Dans (Suleman & Suleman, 2012) ont développé une approche floue pour classer les travailleurs en fonction de leurs compétences, tandis que dans (Zemkova, 2008), une comparaison entre les compétences floues détenues par des particuliers et celles demandées par un " rôle " est suggérée. Dans (T. Y. Chen, 2013) est développé une nouvelle méthode d'affectation linéaire pour produire un ordre de préférence optimale des solutions de rechange en conformité avec un ensemble de classements critère-sage et un ensemble de critères d'importance dans le contexte des nombres flous à intervalle de type 2 trapézoïdal.

Une affectation est facile à réaliser, la réalisation d'une bonne affectation est moins évidente. Les problèmes dans lesquels réside une part d'aléa, tel que lorsque de nouvelles tâches surviennent, sont dits problèmes stochastiques. Cet aspect est très présent dans le domaine de la maintenance. En fonction des engagements pris ainsi que de l'état des indicateurs, les tâches de maintenance ont des niveaux d'urgence différents.

Cette notion d'urgence ressort nécessairement dans la prise en compte des tâches. Dans le même sens, pour pouvoir déterminer un ordre de traitement lorsque plusieurs pannes surviennent en même temps, (Chelbi & Aït-Kadi, 2003) abordent la problématique du classement des équipements selon un ordre de priorité par rapport à la maintenance. Ce classement est réalisé sur la base de neuf critères ; parmi les critères présentés, on relève principalement celui où une panne a une influence sur la sécurité du personnel. Cependant, si l'on dispose d'un niveau d'urgence qui augmente avec le temps, c'est que le temps de planification des intervenants doit être réduit. (Bekkaoui, Sekkal, Meliani, Berrached, & Sari, 2014) proposent d'utiliser la mesure de similarité cosinus afin de chercher la meilleure adéquation entre les compétences acquises et requises dans le processus de sélection des experts dans une plateforme de maintenance.

1.6.2. Formalisation du contexte et définition d'un mécanisme de sélection

Dans cette partie, nous présentons l'approche choisie relatifs à la spécification et au développement d'algorithmes de recherche d'expériences pertinentes par rapport à un contexte courant. Les traitements réalisés, sur la base du contexte de l'expérience, sont similaires, dans une certaine mesure, à ceux effectués dans le cadre du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC). C'est pourquoi nous commençons par présenter l'approche de RàPC. Nous nous attardons sur une composante essentielle du cycle du Raisonnement à Partir de Cas en relation avec notre problématique, l'étape de recherche par similarité et l'étape d'adaptation.

1.6.2.1. Raisonnement à Partir de Cas (RàPC)

1.6.2.1.1. Définition

Les premiers développements sur le RàPC ont été conduits par Minsky dans ses travaux sur les frames (Minsky, 1975) puis par Schank avec ses travaux sur la mémoire sémantique et le concept de scripts pour expliquer des situations particulières (Schank, 1982).

Plus tard, J. Kolodner a diffusé la méthode dans son ouvrage *Case-Based Learning* (Kolodner, 1993). Le processus du RàPC a été formalisé par Aamodt et Plaza (Aamodt & Plaza, 1994). Il comporte quatre phases : la recherche, l'adaptation, la révision et l'apprentissage.

Le processus du RàPC peut être synthétisé de la façon suivante. Les cas les plus proches du problème courant sont recherchés à partir d'une mémoire de cas. Ensuite, il faut réutiliser le(s) cas trouvé(s) en effectuant une adaptation pour résoudre le problème courant et, enfin, réorganiser la mémoire pour y intégrer le nouveau cas. La base de cas contient l'ensemble des cas passés utiles.

Le choix du type de cas à exploiter dans un système de RàPC se répercute directement sur la nature du modèle de RàPC à manipuler. Dans la littérature il existe plusieurs modèles. Premièrement, le modèle conversationnel est essentiellement utilisé dans des systèmes de RàPC. De ce fait, ce modèle a été proposé par Inférence Corporation (fournisseur leader de logiciels et de services pour la gestion de la relation client et de e-commerce) pour répondre aux exigences. Le modèle conversationnel met en

interaction l'utilisateur et le système de RàPC (d'où la notion de "conversation") afin de déterminer les solutions les plus appropriées au problème à résoudre. La description de la partie problème et de la partie action n'est pas structurée (free-text). Cette représentation du cas est une extension de la représentation du cas dans le modèle structurel. (Bergmann et al., 2003) et (Lamontagne, 2004).

Deuxièmement, pour le modèle textuel, aucune représentation standard n'est apparue pour ce type de modèle. La description exacte du cas est primordiale dans ces modèles. Par conséquent, la représentation textuelle des cas joue un rôle très important dans la résolution de problème. Les modèles textuels s'appuient sur la résolution de problèmes à partir d'expériences se trouvant dans des documents textuels. Deux axes sont identifiés dans les travaux portant sur ces modèles à savoir : structuration de cas textuels et extension du modèle de recherche d'information. Les modèles textuels ont donc mené vers les travaux en RàPC textuel (RàPCT). Un état de l'art sur le RàPC textuel a été abordé dans (Lamontagne & Lapalme, 2002).

Le dernier modèle, c'est le modèle structurel exploité pour développer notre système de sélection par RàPC. C'est le premier modèle qui a été utilisé lors de l'apparition des premiers systèmes de RàPC. En effet, par sa simplicité, le concepteur du système de RàPC doit disposer à l'avance de toutes les caractéristiques importantes décrivant un cas pour pouvoir réaliser son modèle. Un modèle de données du domaine est donc élaboré grâce à une expertise du domaine d'application permettant de bien caractériser une situation donnée. Ainsi, les cas sont complètement structurés dans ce modèle de données et représentés par des paires <attribut, valeur>. Un attribut représente une spécification importante du domaine étudié. Quant à la valeur, elle vient structurer les attributs et elle est souvent exprimée par une échelle de valeur d'entiers, réels, booléens ou symboliques. Un exemple d'un cas représenté par la paire <attribut, valeur>.

1.6.2.1.2. Cycle du RàPC

Le RàPC dispose d'un cycle dont le nombre de phases varie selon les différentes sources bibliographiques. Il peut être composé de trois, quatre ou cinq phases. (Fuchs, Lieber, Mille, & Napoli, 2006) déterminent trois phases à savoir la remémoration, l'adaptation et la mémorisation. Les premiers auteurs à avoir décrit le cycle du RàPC sont (Aamodt & Plaza, 1994) et le composent de quatre phases : la remémoration (ou recherche du cas similaire), l'adaptation (ou la réutilisation du cas retrouvé), la validation (ou la révision du cas sélectionné) et la mémorisation (ou l'apprentissage). Quant à (Mille, 2006), il ajoute une phase préliminaire d'élaboration au début du cycle.

- Phase d'Elaboration

Cette phase a pour rôle de mettre en place les spécifications du problème à résoudre (cible). De ce fait, différents mécanismes sont mis en place pour passer d'un problème souvent mal exprimé à un problème correctement défini. La méthode générale consiste à compléter ou filtrer la description d'un problème en se fondant sur la connaissance du domaine pour déduire tout ce qui est possible à partir d'une description éventuellement incomplète, et pondérer les descripteurs en fonction des dépendances identifiées entre les descripteurs du problème cible et les descripteurs de la solution recherchée. C'est à ce moment-là que l'ontologie du domaine va intervenir afin de compléter les descripteurs importants. Une première formalisation de la phase d'élaboration est proposée dans (Fuchs et al., 2006) et donne la définition suivante : « une étape qui consiste, à partir de l'entrée du système de RàPC, à construire le problème cible ». Cette étude évoque l'importance de cette phase dans le RàPC car elle permet la facilité d'exécution et d'évaluation des différentes phases du cycle et l'identification des connaissances qui n'étaient pas prises en compte jusque-là. Dans notre étude, notre élaboration consiste à exprimer une défaillance sous forme de cas cible. Une bonne élaboration du cas facilite la recherche d'un cas similaire au problème posé pour l'orienter vers une solution adaptable.

- Phase de Remémoration

Cette phase consiste à rechercher dans la base de cas le ou les cas sources les plus proches à partir de la description de la partie problème du cas cible, qui vont être utilisés pour le résoudre. Cette phase doit permettre d'obtenir la meilleure solution en effectuant les tâches suivantes : l'identification des caractéristiques pertinentes du problème, la remémoration et la sélection des meilleurs cas parmi les cas sources. L'exécution de ces tâches est dépendante de la représentation de cas, de leur indexation et de leur organisation de la base de cas.

Cette phase est basée uniquement sur des mesures de similarité connues. Ces mesures sont divisées par (Lopez de Mantaras, R. McSherry et al., 2005) en deux groupes : similarité de surface et similarité structurelle.

- Similarités de surface

Ce type de similarité ne tient compte que des attributs des objets. C'est ainsi le type le plus utilisé dans la littérature (Schaaf, 1996), (Smyth & McKenna, 2001) (Wess, Althoff, & Derwand, 1993). Toutefois, il existe d'autres études combinant la similarité de surface avec différentes techniques. (Simoudis & Miller, 1990) confirment que l'utilisation exclusive de la similarité de surface n'est guère suffisante pour discriminer les cas lorsqu'il s'agit d'une grande base de cas. De ce fait, ces auteurs combinent la similarité de surface avec une technique appelée « la remémoration validée ».

Ce type de similarité est pertinent quand les descripteurs du cas sont représentés par des groupes de paires d'attributs-valeurs. Cependant, lorsqu'il s'agit d'une représentation plus complexe du cas, les similarités de surface deviennent moins efficaces. Pour pallier, un autre type de mesure est utilisé : similarités structurelles.

- Similarités structurelles

Ce type de similarité s'intéresse aux relations entre attributs correspondants et repose sur l'utilisation des connaissances du domaine. Nous parlons alors d'une représentation de cas orientée objet. Cette représentation est tout simplement une généralisation de la représentation attribut-valeur (Lopez de Mantaras, R. McSherry et al., 2005). Il y a plusieurs travaux qui se sont réalisés concernant ce type de similarité. Les similarités utilisées dépendent fortement de la représentation des cas (Gentner & Forbus, 1991) (Champin & Solnon, 2003).

- Phase d'adaptation

La phase d'adaptation permet de résoudre un nouveau problème par la réutilisation de la solution du cas source, dans le nouveau contexte propre au cas cible. Plusieurs types d'adaptation sont utilisés à travers les différents travaux dans la littérature. Certains auteurs évitent de traiter cette phase et préfèrent développer la partie remémoration (Kasif, Salzberg, Waltz, Rachlin, & Aha, 1995) en considérant que la richesse de la base de cas peut compenser la phase d'adaptation (Stanfill & Waltz, 1986). Par contre, d'autres auteurs considèrent que l'adaptation est au cœur des systèmes de RàPC (Lieber, D'Aquin, Brachais, & Napoli, 2004) et (Mille, Fuchs, & Herbeaux, 1996). Plusieurs auteurs ont présenté les différents systèmes de RàPC (Rasovska, 2006) (Haouchine, 2009).

A travers cette étude concernant la diversité des différents types d'adaptation, nous pouvons constater que cette étape a toujours été considérée comme étant une étape très importante, au cœur de la majorité des différents types d'application et constitue un défi majeur pour les chercheurs.

- Phase de Révision

La révision consiste à continuer éventuellement l'élaboration de la solution cible si besoin: Cette phase s'avère cruciale pour l'apprentissage du système et son évolution. Cette phase englobe les différentes actions (Mille, 1999) : - Essayer la solution dans le monde réel. - Faire une rétrospection dans la base de cas en utilisant cette fois-ci l'ensemble des descripteurs « problème + solution » pour vérifier que les cas similaires ont donné entière satisfaction. - Utiliser une autre méthode d'évaluation de la solution (simulateur, système expert classique, etc.). Dans tous les cas, en cas de divergence entre ce qui a été construit comme solution et ce qu'il aurait fallu faire, il est important :

- de corriger de façon à ce que le cas soit un cas avec une solution correcte,
- éventuellement de tracer l'écart et l'expliquer sous forme d'exception (ce qui revient à particulariser une forme d'adaptation à une zone plus petite pour la classe de solutions).
 - Phase de Mémorisation

La phase de mémorisation d'un nouveau cas ajoute le nouveau cas appris dans la base de cas et synthétise des nouvelles connaissances afin d'optimiser la base de cas. La mémorisation du nouveau cas résolu est l'occasion d'enrichir la base de connaissances. Cette phase peut être résumée sous une tâche générale nommée : maintenance de la base de cas. La maintenance de la base de cas est définie comme étant le processus d'affinement de la base de cas d'un système de RàPC. Elle met en œuvre des politiques pour réviser l'organisation ou le contenu de la base de cas afin de faciliter le raisonnement futur pour un ensemble particulier d'objectifs de performance (Leake & Wilson, 1998). Deux critères peuvent être employés pour la caractérisation et l'évaluation de la maintenance de base de cas :

- La performance du système mesurée par le temps nécessaire pour proposer une solution.
- La compétence mesurée par le nombre de problèmes différents résolus correctement par le système.

1.7. Synthèse

A travers cette synthèse bibliographique, nous avons constaté qu'il existe des travaux qui ont portés sur différents points scientifiques pour concevoir des systèmes d'aide au diagnostic. Le but de développer de tels systèmes reste un défi afin de réduire le coût et le temps de diagnostic. A titre d'exemple, nous trouvons certains travaux qui s'intéressent aux méthodes qui conviennent de bien choisir les alarmes qui seront présentes dans le système de supervision, et de travailler sur les méthodes de représentation de ces alarmes; leurs arguments c'est que le problème de diagnostic peut être traité dès la phase de conception du système de supervision (Lambert et al., 1999), (Hollifield et al., 2008). Dans le chapitre 3 nous allons détailler les différents travaux de cet axe de recherche.

Nous trouvons aussi un autre axe qui s'intéresse aux méthodes de diagnostic et le problème d'affectation des acteurs de maintenances. Il existe des études qui portent sur les méthodes de diagnostic qualitative orientée expériences [Haouchine, 2012], d'autres approches permet d'assurer une meilleure correspondance entre la tâche de diagnostic et les acteurs de maintenance (Zemkova, 2008)(Marmier et al., 2009) (Suleman & Suleman, 2012). Pareil, plus de détails sur ces travaux sont abordés dans le chapitre 4.

Ainsi, notre travail réside de faire une liaison entre les deux axes. Nous nous sommes intéressés au processus de pré-diagnostic. Le nombre des alarmes générées et l'ambiguïté des informations qu'elles portent augmentent de façon cruciale avec la taille et la complexité du système industriel. Le premier verrou scientifique que nous étudierons sera donc la gestion des alarmes.

Dans un autre point, les ressources humaines ont sollicité beaucoup d'intérêt, grâce à leurs importances. Elles sont, en règle générale, polyvalentes mais suivant leurs parcours et leurs expériences professionnelles, leurs efficacités peuvent varier. Malgré la différence de niveau, par rapport aux services fournis par les systèmes étudiés dans notre étude, les aspects principaux que nous avons remarqués et qui limitent leurs réponses aux enjeux, sont le manque de réutilisation et d'exploitation intelligente des connaissances expertes du domaine, ainsi l'utilisation de connaissances non standardisées et la faible exploitation des expériences passées qui se limite à une simple gestion des ressources humaines. Le deuxième verrou que nous étudierons sera le problème d'affectation des experts à une tâche de diagnostic basé sur la gestion des expériences passés.

Afin de résoudre le problème de gestion des alarmes et mettre en œuvre un système de sélection des experts, la première étape sera le développement d'une ontologie. Cette ontologie sera conçue pour assurer l'intégration de tous types de connaissances propre du diagnostic, d'une part et d'autre part, d'analyser et de formaliser les expériences de diagnostic des experts pour être traitable par la machine. Dans le chapitre suivant, nous allons approfondir le choix et les étapes de développement de cette nouvelle ontologie.

Références Bibliographiques

- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*, 7(1), 39–59.
- Adzakpa, K. P., Adjallah, K. H., & Yalaoui, F. (2004). On-line maintenance job scheduling and assignment to resources in distributed systems by heuristic-based optimization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(2), 131–140.
- AFNOR. (2001). Maintenance terminology.
- Aghezzaf, E. H., Jamali, M. A., & Ait-Kadi, D. (2007). Production, Manufacturing and Logistics An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research*, 181(2), 679–685.
- Al-Jumah, A., & Arslan, T. (1998). Artificial neural network based multiple fault diagnosis in digital circuits. In *Proceedings of ISCAS* (pp. 304–307). Monterey.
- Al-Taani, A. T. (2007). An Expert System for Car Failure Diagnosis. In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* (pp. 476–480).
- Bachimont, B. (2000). Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances. In *In J. Charlet et al. (eds), Ingénierie des Connaissances ; Evolutions récentes et nouveaux défis* (pp. 305–323). Eyrolles.
- Bekkaoui, M., Sekkal, M. ., Meliani, S. ., Berrached, N., & Sari, Z. (2014). The collaboration of experts in a platform S-Maintenance. In *2en International IEEE Conference on Logistics Operations Management* (pp. 23–29).
- Bellenguez-Morineau, O. (2006). *Méthodes de résolution pour problème de gestion de projet multi-compétence*. Tours.

- Bergmann, R., Althoff, K. D., Breen, S., Göker, M., Manago, M., Traphöner, R., & Weiss, S. (2003). *Developing Industrial Case-Based Reasoning Applications: The INRECA Methodology*. Springer; 2nd edition (February 12, 2004).
- Bernard, J., & Duroche, D. (1993). An Expert System for Fault Diagnosis Integrated in Existing SCADA systems. In *Proceedings of Power Industry Computer Application Conference* (pp. 313–319). Scottsdale.
- Berners-Lee, T., & Fischetti, M. (1999). *Weaving the Web : the Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by Its Inventor*.
- Blomqvist, E. (2009). *Semi-automatic Ontology Construction based on Patterns*. Linköping University Institute of technology.
- Boufaied, A. (2003). *Contribution à la surveillance distribuée des systèmes à événements discrets complexes*. Université Paul Sabatier.
- Boyer, I., Riopel, D., & Langevin, A. (2005). Gestion des pièces de rechange. In *International de Génie Industriel (GI)*.
- Brown, J., & McCarragher, B. J. (1999). Maintenance resources allocation using decentralised cooperative control. In *Proceedings of Information, Decision and Control (IDC 99)*. <http://doi.org/0-7803-5256-4>
- Budalakoti, S., Srivastava, A. N., & Otey, M. E. (2009). Anomaly Detection and Diagnosis Algorithms for Discrete Symbol Sequences with Applications to Airline Safety. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, 39(1), 101–113.
- Cabasino, M., Giua, A., Poggi, M., & Seatzu, C. (2007). No Title Identification of Petri Nets from Knowledge of Their Language. *Discrete Event Dynamic Systems*, 17(4), 447–474.
- Calero, C., Ruiz, F., & Piattini, M. (2006). *Ontologies for Software Engineering and Software Technology*. Springer; 2006 edition.
- Champin, P. A., & Solnon, C. (2003). Measuring the similarity of labeled graphs. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Case-Based Reasoning* (pp. 80–95). Berlin: Springer.
- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2012). Anomaly Detection for Discrete Sequences: A Survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 24(5), 823–839.
- Charkaoui, N. (2005). *Discrimination de classes à occurrences simultanées par des approches de reconnaissance des formes : application à la détection et à la localisation de défaillances sur les véhicules en après-vente*. Université de Compiègne.
- Charniak, E. (1991). Bayesian Networks without Tears. *AI Magazine*, 12(4), 50–63.
- Chelbi, A., & Aït-Kadi, D. (2003). Classement des équipements par ordre de priorité pour la maintenance : Une approche multicritère. In *Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM)*.
- Chen, B., Qiu, Y., Feng, Y., & Tavner, P. (2011). Wind turbine SCADA alarm pattern recognition. In *Proceedings of Renewable Power Generation* (pp. 1–6). Edinburgh.
- Chen, B., Tavner, P., & Feng, Y. (2012). Bayesian Networks for Wind Turbine Fault Diagnosis. In *Proceedings of Conference EWEA*. Copenhagen.
- Chen, T. Y. (2013). A linear assignment method for multiple-criteria decision analysis with interval type-2 fuzzy sets. *Applied Soft Computing Journal*, 13(5), 2735–2748. <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.11.013>
- Cheng, Y., Izadi, I., & Chen, T. (2013). Pattern matching of alarm flood sequences by a modified Smith-Watermann algorithm. *Chemical Engineering Research and Design*, 91(6), 1085–1094.
- Cordier, M.-O., & Dousson, C. (2000). Alarm Driven Monitoring on Chronicles. In *Proceedings of safeprocess* (pp. 286–291). Budapest.

- de Kleer, J. (1987). Local Methods for Localizing Faults in Electronic Circuits. *Artificial Lab.*
- Decker, B., Rech, J., Ras, E., Klein, B., & Hoecht, C. (2005). Selforganized Reuse of Software Engineering Knowledge supported by Semantic Wikis. In *Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE)* (pp. 1–12).
- Dedun, I., & Seville, M. (2005). Les systèmes d'information inter-organisationnels comme médiateurs de la construction de la collaboration au sein des chaînes logistiques : Du partage d'information aux processus d'apprentissages collectifs. In *6ième congrès international du Génie Industriel*. Besançon- France.
- Dumont, L., & Morel, L. (2001). Modélisation des coûts de maintenance : application sur l'installation d'expérimentation AIRIX. In *3ème Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation (MOSIM'01)*. Troyes- France.
- Elegbede, C., & Adjallah, K. (2003). Availability allocation to repairable systems with genetic algorithms: a multi-objective formulation. *Reliability Engineering and System Safety*, 82(3), 319–330.
- Fermeuse, C. (2003). Mise en œuvre de la télémaintenance au Centre d'Excellence en Maintenance Industrielle (CEMI). In *1er Colloque international francophone sur la Performance et les Nouvelles Technologies en Maintenance (PENTOM'03)*. Valenciennes, France.
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. In *Proceedings of Symposium on Ontological Engineering of AAAI*. Stanford University, EEUU.
- Fiori de Castro, H., & Lucchesi Cavalca, K. (2006). Maintenance resources optimization applied to a manufacturing system. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(4), 413–420.
- Francastel, J.-C. (2001). *Externalisation de la maintenance - Stratégies, Méthodes et contrats*. Dunod.
- Fuchs, B., Lieber, J., Mille, A., & Napoli, A. (2006, March). Une première formalisation de la phase d'élaboration du raisonnement à partir de cas. *Actes Du 14ième Atelier Du Raisonnement À Partir de Cas*.
- Gardner, R., & Harle, D. (1996). Methods and systems for alarm correlation. In *Proceedings of Global Telecommunications Conference* (pp. 136–140). London.
- Gentner, D., & Forbus, K. (1991). MAC/FAC: A model of similarity based retrieval. In *Proceedings of the Thirteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 504–509). Lawrence Erlbaum.
- Geymayr, J., & Ebecken, N. F. (1995). Fault-Tree Analysis: A Knowledge-Engineering Approach. *IEEE Transactions on Reliability*, 44(1), 37–45.
- Giua, A., & Seatzu, C. (2001). Design of observers/controllers for discrete event systems using Petri nets. In *Synthesis and Control of Discrete Event Systems* (pp. 167–182).
- GODEFROY, E. (2016). *Définition et évaluation d'un mécanisme de génération de règles de corrélation liées à l'environnement*.
- Gruat-La-Forme, F. A., Botta-Genoulaz, V., & Campagne, J.-P. (2007). Problème d'ordonnancement avec prise en compte des compétences : résolution mono critère pour indicateurs de performance industriels et humains. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 41(5), 617–642.
- Gruber, T. . (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 2(5), 199–220.
- Gruber, T. . (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 43, 907–928.
- Guarino, N. (1998). Formal Ontology and Information Systems. *Proceedings of the First*

- International Conference*, 46(June), 3–15. <http://doi.org/10.1.1.29.1776>
- Guerraz, B., & Dousson, C. (2004). Chronicles Construction Starting from the Fault Model of the System to Diagnose. In *Proceedings of 15th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'04)* (pp. 51–56). Carcassonne.
- Haouchine, M. K. (2009). *Remémoration guidée par l'adaptation et maintenance des systèmes de diagnostic industriel par l'approche du raisonnement à partir de cas*. L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté.
- Hashtrudi Zad, S., Kwong, R., & Wonham, W. (1999). Fault diagnosis in finite-state automata and timed discrete-event systems. In *Proceedings of 38th IEEE Conference on Decision and Control* (pp. 81–105).
- Hoekstra, R., Breuker, J., Di Bello, M., & Boer, A. (2009). LKIF Core: Principled Ontology Development for the Legal Domain. In *Proceedings of the 2009 conference on Law, Ontologies and the Semantic Web: Channelling the Legal Information Flood*.
- Hollifield, B., Oliver, D., Nimmo, I., & Habibi, E. (2008). *HMI Handbook* (Plant Auto).
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71, 125–133.
- Hurdle, E., Barlett, L., & Andrews, J. (2005). System fault diagnostics using fault tree analysis. In *Proceedings of the 16th Advances in Reliability Technology Symposium (ARTS)*. Loughborough.
- International Standards Office, I. (2004). Process Specification Language: Part 1. Overview and Basic Principles. In *Industrial Automation Systems and Integration* (Vol. 18629). Genève.
- Julisch, K. (2001). Mining alarm clusters to improve alarm handling efficiency. In *Proceedings of 17th Annual Computer Security Applications Conference ACSAC* (pp. 12–21). Orlando.
- Jung, J.-G., Oh, K.-J., & Jo, G.-S. (2009). *Extracting Relations towards Ontology Extension*.
- Kaffel, H. (2001). *La maintenance distribuée: concept, évaluation et mise en œuvre*. Université Laval, Quebec.
- Kaffel, H., D'Amours, S., & Ait-Kadi, D. (2003). Les critères techniques pour le choix des acteurs dans un système de maintenance distribuée. In *1^{er} Colloque international francophone sur la Performance et les Nouvelles Technologies en Maintenance (PENTOM'03)*. Valenciennes, France.
- Kane, H., Ait-Kadi, D., D'Amour, S., & Batiste, P. (2003). Un modèle optimal de planification des ressources pour satisfaire les besoins d'effectifs en maintenance. In *Congrès International de Génie Industriel*.
- Karray, M. H. (2012). *Contribution à la spécification et à l'élaboration d'une plateforme de maintenance orientée connaissances*. These de Doctorat. L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté.
- Karray, M. H., Chebel-Morello, B., & Zerhouni, N. (2012). A formal ontology for industrial maintenance. *Applied Ontology*, 7(3), 269–310. <http://doi.org/10.3233/AO-2012-0112>
- Kasif, S., Salzberg, S., Waltz, D., Rachlin, J., & Aha, D. (1995). *Towards a Framework for Memory-Based Reasoning*.
- Kennedy, W. J., & Wayne-Patterson, J. Frendendall Lawrence, D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, 76, 201–215.
- Knuth, D., Morris, J., & Pratt, V. (1987). Fast Pattern Matching in Strings. *SIAM Journal on Computing*, 6(2), 323–350.
- Kolodner, J. L. (1993). *Case-based learning* (1st ed.). Springer US.
- Kolski, C., & Millot, P. (1993). Problems in telemaintenance and decision aid criteria for telemaintenance system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11(2), 99–

- 106.
- Kramer, I. Proteus - Modélisation terminologique (2003). INRIA.
- Lambert, M., Riera, B., & Martel, G. (1999). Application of functional analysis techniques to supervisory systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 64(2), 209–224.
- Lamontagne, L. (2004). *Une approche CBR textuel de réponse au courrier électronique*. Montréal.
- Lamontagne, L., & Lapalme, G. (2002). Raisonnement à base de cas textuels – état de l'art et perspectives. *Intelligence Artificielle*, 16(3), 339–366.
- Laprie, J. ., Arlat, J., Blanquart, J. P., Costes, A., Crouzet, Y., Deswarte, Y., ... Thevenod-P, F. (1995). *Guide de la sûreté de fonctionnement* (2-85428-382-1). Cepaduès.
- Larsson, J. (1994). Hyperfast algorithms for model-based diagnosis. In *Computer-Aided Control System Design. Proceedings Proceedings of IEEE/IFAC Joint Symposium on* (pp. 533–538). Tucson.
- Leake, D. B., & Wilson, D. C. (1998). Categorizing case-base maintenance: dimensions and directions. In *Advances in Case-Based Reasoning: 4 th European Workshop, EWCBR* (pp. 196–207). Verlag, Berlin: Springer.
- Lee, J., Ni, J., Djurdjanovic, D., Qiu, H., & Liao, H. (2006). Intelligent prognostics tools and e-Maintenance. *Computers in Industry*, 57(6), 476–489.
- Lefebvre, D., & Delherm, C. (2007). Diagnosis of DES With Petri Net Models. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4(1), 114–118.
- Lefebvre, D., & Leclercq, E. (2011). Stochastic Petri Net Identification for the Fault Detection and Isolation of Discrete Event Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 42(2), 213–225.
- Lenat, D. (2006). Hal's Legacy: 2001's Computer as Dream and Reality. From 2001 to 2001: Common Sense and the Mind of HAL. In *Cycorp, Inc. Retrieved 2006-09-26*.
- Liao, S.-H. (2005). Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004. *Expert Systems with Applications*, 28(1), 93–103.
- Lieber, J., D'Aquin, M., Brachais, S., & Napoli, A. (2004). Une étude comparative de quelques travaux sur l'acquisition des connaissances d'adaptation pour le raisonnement à partir de cas. In *12 ème Atelier de Raisonnement à Partir de Cas (RàPC'04)* (pp. 53–60). Villetaneuse, France.
- Lind, M. (1994). Modeling Goals and Function of Complex Industrial Plants. *Applied Artificial Intelligence*, 8, 259–284.
- Lopez de Mantaras, R. McSherry, D., Bridge, D., Leake, D., Smyth, B., Craw, S., Faltings, B., ... Watson, I. (2005). Retrieval, Reuse, Revise, and Retention in CBR. *Knowledge Engineering Review*, 20(3), 215–240.
- Lu, C., Boedihardjo, A. P., & Manalwar, P. (2005). Exploiting Efficient Data Mining Techniques to Enhance Intrusion Detection Systems. In *IEEE International Conference on Information Reuse and Integration* (pp. 512–517). Las Vegas.
- MARMIER, F. (2007). *Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence: une approche dynamique, proactive et multi-critère*. FRANCHE-COMTÉ.
- Marmier, F., Varnier, C., & Zerhouni, N. (2009). Proactive, dynamic and multi-criteria scheduling of maintenance activities. *International Journal of Production Research*, 47(8), 2185–2201.
- Mille, A. (1999). Tutorial CBR : Etat de l'art de raisonnement à partir de cas. Plateforme AFIA'99. Palaiseau.
- Mille, A. (2006). *Traces based reasoning (TBR) definition, illustration and echoes with story*

- telling. Lyon.
- Mille, A., Fuchs, B., & Herbeaux, O. (1996). A unifying framework for Adaptation in Case-Based Reasoning. In *Proceedings of the ECAI'96 Workshop: Adaptation in Case-Based Reasoning* (pp. 22–28).
- Minsky, M. (1975). The Psychology of Computer Vision. In *Chapitre A: framework for representing knowledge* (pp. 211–277). McGraw-Hill, New York.
- Mizogouchi, R., & Bourdeau, J. (2004). Le rôle de l'ingénierie ontologique dans le domaine des EIAH. *Sciences et Technologies de l'Information et de La Communication Pour l'Éducation et La Formation*, 11.
- Muller, A. (2005). *Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic*. Université Henri Poincaré, Nancy.
- Muller, A., Crespo Marquez, A., & Iung, B. (2008). On the concept of e-maintenance: review and current research. *Reliability Engineering and System Safety*, 93(8), 1165–1187.
- Nasibov, E. (2007). A problem of task allocation with fuzzy information and two stage solution algorithm. *Automatic Control Computer Sciences*, 41(4), 196–202.
- Navarro, G., & Baeza-Yates, T. (1999). Very fast and simple approximate string matching. *Information Processing Letters*, 72(1-2), 65–70.
- Neches, R., Fikes, R., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Senator, T., & Swartout, W. (1991). Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine*, 36–56.
- Negnevitsky, M., & Pavlovsky, V. (2005). Neural Networks Approach to Online Identification of multiple failures of protection systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 588–594.
- Noy, N., & McGuinness, D. (2000). Développement d'une ontologie 101: Guide pour la création de votre première ontologie. *Université de Stanford, Stanford, Traduit de L' ...*, 1–26. Retrieved from <http://www.bnf.fr/documents/no-devonto.pdf>
- Pandalai, D., & Holloway, L. (2000). Template languages for fault monitoring of timed discrete event processes. *IEEE Transactions On Automatic Control*, 45(5), 868– 882.
- Pencolé, Y., & Subias, A. (2009). A Chronicle-based Diagnosability Approach for Discrete Timed-event Systems: Application to Web-Services. *Journal of Universal Computer Science*, 15(17), 3246–3272.
- Pollock, J. T. (2001). The Big Issue: Interoperability vs. Integration. *eAI Journal*.
- Qian, Y., Xiuxi, L., Yanrong, J., & Yanqin, W. (2003). An expert system for real-time fault diagnosis of complex chemical processes. *Expert Systems with Applications*, 24(4), 425–432.
- Ramírez-Treviño, A., Ruiz-Beltrán, E., Rivera-Rangel, I., & López-Mellado, E. (2007). Online Fault Diagnosis of Discrete Event Systems. A Petri Net-Based Approach. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4(1), 31–39.
- Rasovska, I. (2006). *Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance*. Vide *Science Technique Et Applications*. UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE.
- Rasovska, I., Chebel Morello, B., & Zerhouni, N. (2007). Classification des différentes architectures en maintenance. In *7ème Congrès International de Génie Industriel, GI'2007*.
- Reiter, R. (1987). A Theory of Diagnosis from First Principles. *Artificial Intelligence*, 57– 95.
- Roth, M., Lesage, J., & Litz, L. (2009). A residual inspired approach for fault localisation. In *Proceedings of 2nd Ifac workshop on dependable control discrete event systems*.
- Rustenburt, W. D., Van-Houtum, G. J., & Zijm, W. H. M. (2001). Spare parts management at complex technology-based organisations : An agenda for research. *International Journal of*

- Production Economics*, 71, 177–193.
- Sadoddin, R., & Ghorbani, A. (2006). Alert correlation survey : framework and techniques. In *International Conference on Privacy, Security and Trust : Bridge the Gap Between PST Technologies and Business Services* (p. 37).
- Saint Voirin, D. (2002). *Modélisation des approches de coopération en télémaintenance : étude et contribution*. Besançon- France.
- Salah, S., Maciá-Fernández, G., & Díaz-Verdejo, J. E. (2013). A model-based survey of alert correlation techniques. *Computer Networks*, 57(5), 1289–1317.
- Salah, S., Maciá-Fernández, G., & Díaz-Verdejo, J. E. (2013). A model-based survey of alert correlation techniques. *Computer Networks*, 57(5), 1289–1317.
- Schaaf, J. W. (1996). Fish & shrink: A next step towards efficient case retrieval in large scale case-bases. In *Proceedings of the Third European Workshop on Case-Based Reasoning* (pp. 362–376). Berlin: Springer.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory: a theory of learning in computer and people*. Press. New York.
- Seguy, A. (2008). *DÉCISION COLLABORATIVE DANS LES SYSTÈMES DISTRIBUÉS – APPLICATION À LA E-MAINTENANCE*.
- Seguy, A., Noyes, D., & Clermont, P. (2009). Caractérisation et estimation des performances en e-maintenance. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés(JESA)*, 43(2).
- Shedrof, N. (1999). Information interaction design: a unified field theory of design. *Information Design (Jacobson, R., Ed.) MIT Press*, pp. 267–292.
- Simoudis, E., & Miller, J. (1990). Validated retrieval in case-based reasoning. In *Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence* (pp. 310–315). Menlo Park.
- Smith, B. (2003). *Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*. (L. Floridi, Ed.). Oxford.
- Smith, T. F., & Waterman, M. (1981). Comparison of Biosequences. *Advances in Applied Mathematics*, (2), 482–489.
- Smyth, B., & McKenna, E. (2001). Competence guided incremental footprint-based retrieval. *Knowledge-Based Systems*, 14(3-4), 155–161.
- Spadoni, M. (2004). Système d'information centré sur le modèle CIMOSA dans un contexte d'entreprise étendue. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 38(5), 497–525.
- Stanfill, C., & Waltz, D. (1986). Towards memory-based reasoning. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 29, 1213–1228.
- Suleman, A., & Suleman, F. (2012). Ranking by competence using fuzzy approach. *Quality & Quantity*, 46, 324– 339.
- Swartout, B., Ramesh, P., Knight, K., & Russ, T. (1997). Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies. *Symposium on Ontological Engineering of AAAI*.
- Taisne, J. (2006). Intelligent Alarm Processor based on Chronicle Recognition for Transmission and Distribution System. In *Proceedings of Power Systems Conference and Exposition*. Atlanta.
- Tan, J., Kirschen, D., & Goody, a. J. (2000). An Expert System for the Back-up Protection of a Transmission Network. In *Proceedings of IEEE Transactions on Power Delivery* (pp. 508–514).
- Tararykine, V., Ould-hocine, M., & Zerhouni, N. (2005). Modélisation des flux d'information dans le réseau internet : application à l'e-maintenance. In *6ème Congrès de Génie Industriel GI'2005*.
- Trilling, L., & Guinet, A. (2005). Aide à la décision pour la gestion quantitative des ressources humaines : comment lever la contrainte financière hospitalière. In *Congrès International de*

Génie Industriel.

- Tsang, R. (2010). Cyberthreats, vulnerabilities and attacks on SCADA networks. *University of California, Berkeley, Working Paper ...*, 1–23. Retrieved from [http://gspp.dreamhosters.com/iths/Tsang_SCADA Attacks.pdf](http://gspp.dreamhosters.com/iths/Tsang_SCADA_Attacks.pdf)
- Tuszynski, J., Larsson, J. E., Nihlwing, C., Öhman, B., & Calzada, A. (2002). A Pilot Project on Alarm Reduction and Presentation Based on Multilevel. In *Proceedings of Enlarged Halden Programme Group Meeting*.
- Uschold, M., & Jasper, R. (1999). *A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications, Compte rendu de l'atelier du IJCAI-99 Ontologies ans Problem- Solving Methods*. Stockholm.
- Uschold, M., & King, M. (1995). *Towards a Methodology for Building Ontologies*. Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing.
- Ushio, T., Onishi, I., & Okuda, K. (1998). Fault Detection Based on Petri Net Models with Faulty Behaviors. In *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (pp. 113–118). San Diego.
- Valeur, F. (2006). *Real-Time Intrusion Detection Alert Correlation*. UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
- Wess, S., Althoff, K. D., & Derwand, G. (1993). Using K-D trees to improve the retrieval step in case-based reasoning. In *Proceedings of the First European Workshop on Case-Based Reasoning* (pp. 167–181). Berlin: Springer.
- Wouters, B., Deridder, D., & Van Paesschen, E. (2000). The Use of Ontologies as a Backbone for Use Case Management. In *European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP 2000)*.
- Yamanishi, K., & Maruyama, Y. (2005). Dynamic syslog mining for network failure monitoring. In *Proceedings of International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining 11th ACM SIGKDD* (pp. 499–508). Chicago.
- Yang, F., Shah, S., Xiao, D., & Chen, T. (2012). Improved correlation analysis and visualization of industrial alarm data. *ISA Transactions*, 51(4), 499–506.
- Yemini, S., Klinger, S., Mozes, E., & Yemini, Y. (1996). High speed and robust event correlation. *IEEE Communications Magazine*, 34(5), 82–90.
- Ying, J., Kirubarajan, T., Pattipati, K., & Patterson-Hine, A. (2000). A hidden Markov model-based algorithm for fault diagnosis with partial and imperfect tests. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 30(4), 463–473.
- Zemkova, B. (2008). Application of fuzzy sets in employees' evaluation. *Journal of Applied Mathematics*, 1(1), 475–484.
- Zurutuza, U., & Uribeetxeberria, R. (2004). Intrusion detection alarm correlation : a survey. In *IADAT International Conference on Telecommunications and computer Networks* (pp. 1–3).

Chapitre II

Chapitre 2

Ontologie FOMES



ontologie est une partie intégrante de cette démarche de management

permettant une conceptualisation d'un domaine dans laquelle nous retrouvons le vocabulaire inhérent à celui-ci. Les concepts sont structurés et associés à des relations et des fonctions qui précisent le domaine. Les ontologies ont été conçues afin de répondre à un besoin de clarification dans la gestion des connaissances, ainsi qu'aider à l'intégration de connaissances dans des systèmes informatiques, d'analyser et de formaliser les expériences pour en faire profiter toutes les unités de l'entreprise.

Ce deuxième chapitre est décomposé en 3 sections : la première vise à présenter les travaux réalisés dans la construction des ontologies dans la maintenance industrielle. A la lumière de cet état de l'art, nous nous proposons les démarches pour construire une nouvelle ontologie dédiée à notre système de sélection des experts. Dans la deuxième partie, nous parlons à propos de l'IMAMO, notre choix comme une ontologie de référence.

Dans la dernière partie, nous abordons la réutilisation de l'ontologie IMAMO afin de construire la nouvelle ontologie FOMES. Ensuite nous présentons notre travail pour enrichir les vocabulaires en transformant les termes de domaine en des concepts et des propriétés.

Chapitre 2	57
2.1. <i>Ontologies industrielles</i>	58
2.2. <i>Ontologie IMAMO</i>	62
2.2.1. Définition	62
2.2.2. Arbre de classification de concepts	63
2.2.3. Modèle conceptuel	64
2.2.4. Implémentation	65
2.3. <i>Construction de l'ontologie FOMES</i>	66
2.3.1. Analyse du contexte	66
2.3.2. Dictionnaire de données de FOMES	69
2.4. <i>Conclusion</i>	75
<i>Références Bibliographiques</i>	75

2.1. Ontologies industrielles

Dans cette section, nous présentons une revue de la littérature sur les ontologies qui traitent des aspects de l'industrie.

La croissance récente de la maturité des technologies sémantiques a conduit à une adoption beaucoup plus large des solutions sémantiques dans les industries. Ces solutions incluent typiquement des spécifications de connaissances sous la forme de différentes ontologies. Le premier effort dans l'application de l'ontologie devrait être de bien comprendre le domaine en jeu, auquel il faut donner une description suffisamment profonde. À ce jour, un défi majeur est d'isoler et de définir une méthodologie stable et fiable pour cette tâche. Ce qui semble être un processus simple à définir en termes généraux s'avère très difficile à cerner dans ses détails. Néanmoins, nous observons que la littérature actuelle en Intelligence Artificielle fournit un certain nombre de cadres intéressants pour développer, déployer, tester et intégrer des ontologies.

Un défi important consiste à produire des technologies TIC et des systèmes basés sur l'ontologie qui correspondent de manière satisfaisante aux processus industriels, pratiques et modèles organisationnels dans lesquels ils sont mis en œuvre. Dans une organisation complexe composée d'une constellation d'unités qui gèrent de façon autonome des processus spécialisés, les technologies TIC et les systèmes ontologiques doivent prendre en compte la nature distribuée des connaissances et permettre la coordination entre unités autonomes. Dans un tel scénario, l'ontologie formelle devrait satisfaire deux besoins différents: soutenir la création de connaissances spécialisées au sein d'une unité et faciliter la coordination des connaissances et des activités par lesquelles les connaissances sont échangées.

Nous proposons deux dimensions de comparaison pour obtenir une classification plus précise. Premièrement, nous distinguons les ontologies générales liées à l'industrie. Nous trouvons les ontologies d'organisation, chaînes logistique de production et de maintenance, etc. Deuxièmement, nous examinons le type de connaissances que l'ontologie compromet réellement. Ici, nous distinguons les ontologies dans des applications industrielles spécifiques tel que, les ontologies de Biomédecine, Construction militaire, Domaine automobile, Domaine de l'industrie chimique, Industrie aérospatiale, Industrie alimentaire, Industrie du tourisme, Industrie du gaz et du pétrole.

Par conséquent, il est crucial que l'ontologie soit de qualité pour être exploitée au mieux par la plateforme et ne pas apporter un biais aux services proposés par celle-ci. Quelques travaux sur l'ontologie du domaine de maintenance ont été initiés par le passé. En effet on constate la présence de modèles standards dans le domaine comme MIMOSA-CRIS ou SOM, et un début d'ontologie ne couvrant pas tous les aspects du domaine de maintenance.

Puisque les ontologies fondamentales sont, après tout, de nouveaux outils pour les besoins industriels, le développement d'une ontologie en tant que norme ouverte ou exclusive dépend de considérations industrielles. Cependant, si nous voulons profiter de la technologie web et des nouvelles approches envers les entreprises virtuelles et les chaînes d'approvisionnement intégrées (pour ne citer que quelques cas), nous voyons que ces ontologies générales auront un impact majeur et fourniront les plus grands avantages si elles sont public partagé et largement adopté, ou du moins largement reconnu.

En raison des coûts de restructuration des systèmes d'information industriels, de nombreuses entreprises peuvent d'abord préférer améliorer leurs systèmes existants ou propriétaires en fournissant une interface qui aligne les structures de données et de connaissances de l'entreprise sur une ontologie standard. De cette manière, une entreprise peut tirer profit d'une ontologie standard dès le départ et éviter de redessiner tout le système d'information pour se conformer à l'ontologie: un changement qui nécessite des investissements en termes d'argent, de temps et de formation du personnel.

Enfin, l'industrie devrait être moins timide en s'adressant au milieu de la recherche d'applications d'ontologie. L'écart entre la recherche en ontologie et la mise en œuvre de l'ontologie a amené de nombreux chercheurs à consacrer la majeure partie de leurs efforts aux langages d'ontologie et aux classifications de raisonnement. La conséquence est que les aspects cruciaux pour améliorer la facilité d'utilisation (Mark et al. 1997) comme le développement terminologique (nécessaire pour favoriser la compréhension et l'utilisation correcte par des non-experts) et les interfaces ontologiques pour l'utilisateur final (Hepp 2007) ne tiennent pas la route aujourd'hui. Le développement terminologique et le développement d'interfaces ontologiques ne sont bien sûr que deux aspects de la relation omniprésente entre ontologie, langage naturel et interaction homme/ ordinateur, relation qui doit aujourd'hui être évaluée par rapport à la source principale d'information: le Web.

Nous pouvons résumer les principales ontologies dans l'industrie dans le Tableau 2-1:

Tableau 2-1 Etat de l'art sur les ontologies industrielles

Ontologies génériques	Nom_Ontologie	Date de développement	Langage de l'ontologie	Lien d'accès	Auteurs et Affiliations
Design Ontology	AsD Ontology	2006	UML- OWL	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448506001680	Kim et al, Wayne State University
Manufacturing ontology	MASON	2006	//	https://sourceforge.net/projects/mason-onto/	Lemaignan et al, Arts et Métiers Paris.
Assembly representation ontology	An Ontology for Assembly	2007	UML-OWL	http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.161.6144&rep=rep1&type=pdf	Smith & Becker, Carnegie Mellon University
Material ontology	Matonto	2008	OWL	https://github.com/iNovexIrada/MatOnto-Ontologies	NCOR University
Supply Chain Management	SCONTO	2011	OWL	http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11915034_105#page-1	Abels et al, University of Oldenburg Germany
Simulation Ontology	DeMo	2011	//	http://cobweb.cs.uga.edu/~jam/jsim/DeMO/DeMO.owl	DeMO Project, NCBI
Transport ontology	Transportation ontology	2012	OWL	OWL File NAV. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412012699	De Oliveira et al. University Of Valenciennes
Maintenance ontology	IMAMO	2012	UML-Power loom, OWL	in progress	Hedi Karray. INPT-ENIT

Human resource ontology	HRM Ontology	2013	RDF	http://www.oeg-upm.net	Ontology Engineering Group, Polytech Madrid
Ontologies Spécifiques	Nom_Ontologie	Date de développement	Langage de l'ontologie	Lien d'accès	Auteurs et Affiliations
Automotive ontology	Volkswagen Vehicles Ontology	2010	RDF - OWL	http://www.volkswagen.co.uk/vocabularies/vvo/ns	Martin Hepp, Volkswagen
Food ontology	BEVON: Beverage ontology	2013	RDF	http://rdfs.co/bevon/latest/html	James G. Kim
Chemical Methods Ontology	CHMO	2014	OWL	https://github.com/rsc-ontologies/rsc-cmo	
Appliance ontology	INDISET ontology	2016	UML-KFL	http://www.flexinet-fof.eu/Documents/FLEXINET%20D3.5%20Product-Service-Production%20Ontologies.pdf	Bob Young et al, FLEXINET project

2.2. Ontologie IMAMO

2.2.1. Définition

IMAMO (Industrial MAintenance Management Ontologie) est une ontologie du domaine de maintenance couvrant les différentes vues de ce domaine (par exemple : l'équipement, les ressources, les stratégies, etc) et permettant d'alimenter la base de connaissances sur laquelle prend appui la plateforme pour assurer ses fonctionnalités et services. Elle rentre dans le cadre du projet transfrontalier SMAC soutenu par le programme Interreg IV France-Suisse. SMAC est un projet entre l'Université de Franche-Comté et l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et de deux PME l'une basée en Jura Suisse TORNOS, l'autre à Besançon EM@SYSTEC.

IMAMO, a été développé à partir des modèles développés dans le projet PROTEUS (Rasovska 2006) pour introduire une première version d'ontologie de maintenance publié dans (Karray et al. 2009). Cette ontologie est composée de 62 concepts et 70 relations intégrant les principaux concepts utilisés dans PROTEUS. Ensuite, dans le cadre du projet SMAC (SMAC 2009) Karray a établi une correspondance (un mapping) entre cette ontologie et le modèle PROMISE. Comme résultat, une version plus évoluée de cette ontologie orientée maintenance est proposé, intégrant certains concepts liés et inclus dans la phase de milieu de vie (MOF-Middel of Life) de gestion du cycle de vie des produits (PLM-Products Lifecycle Management). Cette ontologie, appelée Modèle SMAC, était conceptualisée par le diagramme de classe UML et implémentée avec OWL-DL via l'outil Protégé 2000 (Matsokis et al. 2010).

METHONTOLOGY a été proposée comme une méthode structurée pour construire l'ontologie IMAMO. Son objectif est de couvrir le cycle de vie global de l'ontologie. Elle comprend un ensemble d'activités qui seront accomplies durant le processus de développement d'une ontologie. METHONTOLOGY couvre trois niveaux d'activités :

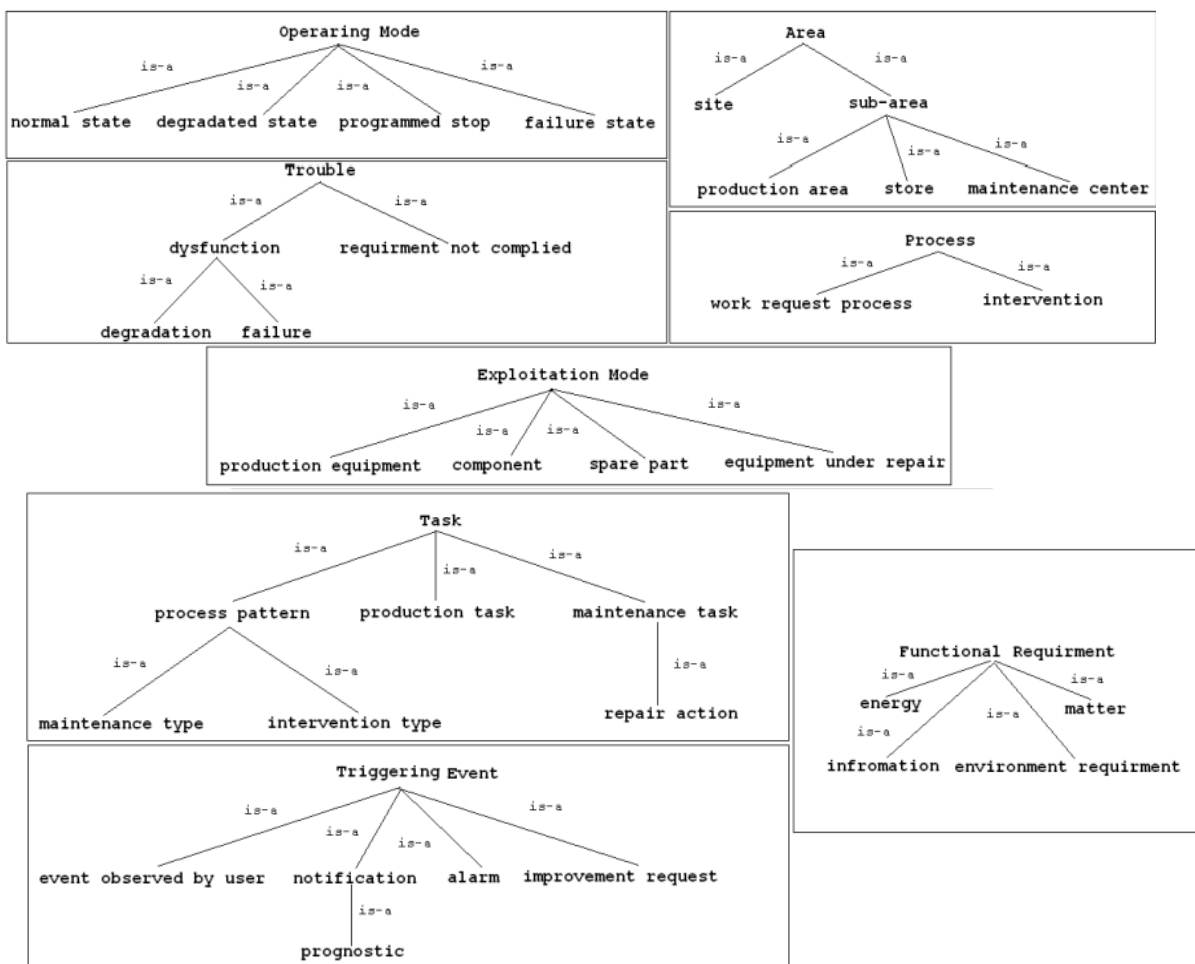
- activités de gestion incluant la planification, le contrôle et l'assurance qualité.
- activités de développement incluant la spécification, la conception, la formalisation, l'implémentation et la maintenance.
- activités de support incluant l'acquisition de connaissances, l'intégration, l'évaluation, la documentation, et la gestion de configuration.

Par conséquent, Karray (2012) a exploité l'activité de support « Acquisition des connaissances » lors de la mise en œuvre de l'activité de développement « spécification ». Ainsi, au cours de l'activité de développement « conceptualisation », il a pris appui sur les activités de support « Acquisition des connaissances » et « intégration ». En ce qui concerne l'activité de support « évaluation », cette dernière doit être répétée dans les différentes activités de développement « conceptualisation », «

formalisation » et « implémentation » (voir (Karray 2012) pour plus de détail sur les différentes étapes des activités).

2.2.2. Arbre de classification de concepts

Les arbres de classification de concepts représentent une taxonomie pour le domaine. Les taxonomies peuvent être également considérées comme des vues différentes pour présenter la même information. Par ailleurs, nous notons que le domaine de la maintenance est très vaste. Néanmoins, IMAMO ne contiendra pas beaucoup d'arbres profonds. Ceci est fait dans le but d'obtenir une ontologie riche avec différents types de relations et non pas une ontologie hiérarchique comme une taxonomie. Les relations soutenues par l'ontologie IMAMO sont : 'est-un (is-a)', 'est-composant-de (is component of)' et d'autres verbes. La Figure 2-5 résume certains arbres de classification de concept dans IMAMO.



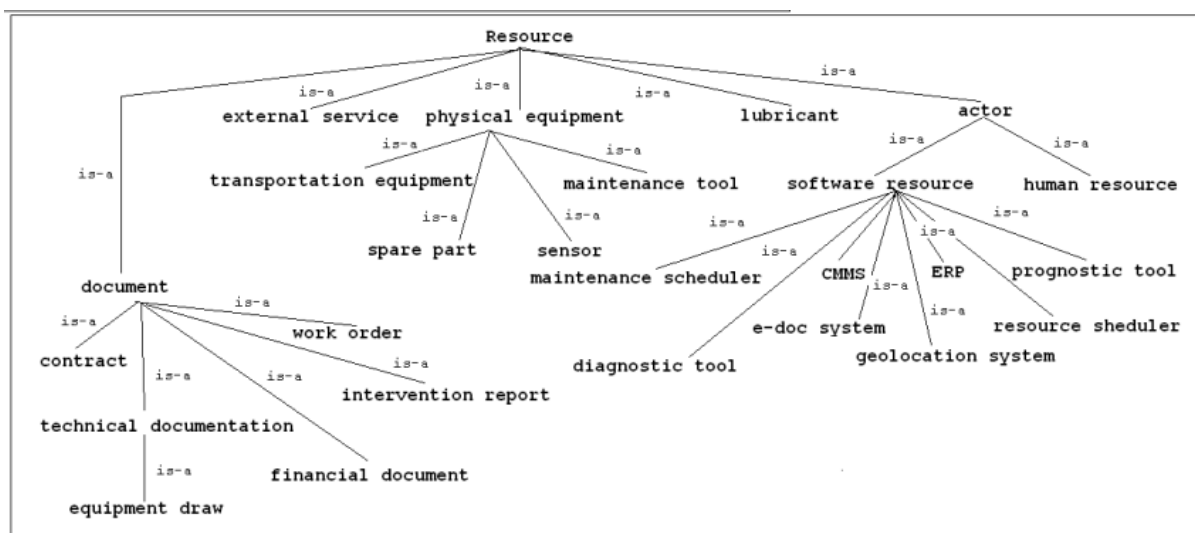


Figure 2-1 Exemples d'arbres de classifications de concepts dans IMAMO

2.2.3. Modèle conceptuel

Le langage de modélisation unifié UML serait un bon candidat pour représenter les ontologies et les connaissances (Cranefield S. , 2001). Cranefield et Purvis (Cranefield & Purvis 2000) ont noté que les modèles UML ont certaines caractéristiques communes considérées comme celles du paradigme de la représentation des connaissances déclaratives (Bézivin 2000). Les connaissances exprimées via UML sont facilement accessibles pour la compréhension humaine. Dans un modèle UML, les connaissances peuvent être facilement modifiées en raison de la nature modulaire de la modélisation orientée objet.

Le diagramme de classes UML est utilisé pour formaliser IMAMO. Ce choix est soutenu par l'expressivité graphique et la puissance sémantique d'UML recommandé dans les divers travaux de recherches. Ceci facilitera l'échange entre les experts du domaine et de la compréhension humaine de l'ontologie. En outre, l'ontologie du domaine, bien formalisée de façon indépendante des méthodes de raisonnement, a une structure qui dépend « du comment les connaissances acquises seront utilisées » pour le raisonnement, car les experts fournissent des connaissances adaptées à leur raisonnement. Par conséquent, les méthodes de raisonnement seront considérées dans la phase de mise en œuvre (d'implémentation).

Le diagramme de classe est décomposé en huit vues :

1. La vue structurelle présentant la composition d'équipement, liée à la couche d'analyse de l'équipement.

2. La vue fonctionnelle/dysfonctionnelle, caractérisant les différentes fonctionnalités de l'équipement et de ses composantes ainsi que le diagnostic de défaut et de la couche d'expertise.
3. La vue événementielle qui présente les événements déclencheurs lancés après les échecs et / ou la dégradation, liée à la couche de diagnostic de fautes et expertise.
4. La vue informationnelle qui présente les différentes ressources (documents, humains, logiciels, outils, indicateurs, etc.) qui sont liées à l'équipement et les tâches de maintenance ainsi que de la stratégie et les processus de maintenance, qui est elle aussi liée aux couches de gestion des ressources et de la gestion de stratégie de maintenance.
5. La vue interventionnelle qui propose des concepts liés au processus d'intervention.
6. La vue stratégique présentant les aspects managériaux de la stratégie de maintenance et des contrats.
7. La vue des processus qui englobe la présentation de tous les processus techniques, administratifs et de gestion.
8. La vue mémorielle qui présente les concepts permettant le suivi du cycle de vie de l'équipement.

Dans notre étude nous allons baser sur les deux vues informationnelle et événementielle.

2.2.4. Implémentation

Un langage d'implémentation d'ontologie se caractérise par son expressivité, sa capacité de définition et de descriptions, l'existence d'un langage d'interrogation associé, et d'un outil d'implémentation ainsi que des outils de raisonnement.

Le PowerLoom est un choix pour la mise en œuvre de IMAMO. Il fournit un environnement de construction intelligente, basée sur la connaissance des applications. Il utilise un langage de représentation tout expressif basé sur la logique (une variante de KIF) et un moteur d'inférence de déduction naturelle. Ce moteur associe le chaînage avant et arrière pour dériver ce qui suit logiquement les faits et les règles instanciés dans la base de connaissances. PowerLoom n'est pas une logique de description, par contre il contient un classificateur de description qui utilise une technologie dérivée du classificateur de Loom pour classer les descriptions exprimées en prédicats de premier ordre (PowerLoom 2011).

2.3. Construction de l'ontologie FOMES

Pour construire une ontologie, (Corcho et al. 2003) se sont questionnés sur la méthodologie la mieux adaptée, les outils et les langages à utiliser dans le processus de développement de celle-ci. Dans notre travail, Le but final est de disposer d'une ontologie qui fournit les primitives sémantiques du système de sélection des experts. Nous n'avons pas commencé ce travail à partir de zéro, le recueil de données pour la construction de notre ontologie FOMES inclut la réutilisation et l'intégration d'ontologie existantes. Nous notons, toutefois, que IMAMO est une ontologie globale et néglige différents détails laissés à la discrétion des utilisateurs (nous entendons par utilisateurs les développeurs) pour les rajouter en fonction de leurs besoins. Dans ce cas, les utilisateurs peuvent adapter, faire évoluer et maintenir l'ontologie.

Nous avons étudié l'ontologie IMAMO (Industrial MAintenance Management Ontologie)(Karray 2012). La qualité de l'ontologie va sans doute influencer les résultats de plusieurs tâches ainsi que l'efficacité du système. Assurer la qualité et la disponibilité des vocabulaires dans l'ontologie est un critère important dans le but de développer un système de sélection efficace. Nous présentons ici les tâches réalisées pour obtenir l'ontologie de FOMES :

- Identifier le but et le domaine couvert de l'ontologie.
- Réutiliser l'ontologie IMAMO;
- Collecter les sources d'informations disponibles pour construire l'ontologie : documents, experts.
- Compléter ces ontologies par le vocabulaire dans ces sources ;
- Représenter l'ontologie avec protégé.
- Utiliser et tester l'ontologie et puis la corriger en cas de besoin.

2.3.1. Analyse du contexte

Le but de l'ontologie est de fournir des vocabulaires sémantiques explicites satisfaisant les besoins du système de Selection des Experts. Pour arriver à ce but, il est important de déterminer tout ce qui dans l'ontologie est nécessaire et utile pour le système dans chaque étape du processus RàCP. Nous pouvons résumer que le système a besoin d'une ontologie capable de fournir les vocabulaires dédiés aux domaines de la diagnostic tels que les panne, les alarmes, les experts et des équipements, etc. Cette partie doit être mise à jour avec l'évolution des terminologies dans les domaines à maintenir. Une autre partie dédiée aux tâches spécifiques de la diagnostic, et concernant tous les concepts et propriétés nécessaires pour la description

des aspects importants de ces tâches. Ainsi, l'ontologie utilisée pour préciser la formulation de la requête du système de Sélection des Exprts (SE), lever l'ambiguïté du contexte de recherche, explicitement décrire les sources d'information et pouvoir établir la mise à jour du profil des experts d'une tâche de diagnostic.

2.3.1.1. Réutilisation de IMAMO

La réutilisation des ontologies est évidemment attractive mais difficile en même temps. Elle réduit le temps et les travaux pour le créateur de l'ontologie mais elle exige la cohérence au niveau de la conceptualisation entre l'ontologie désirée et l'ontologie réutilisée. nous avons réutilisé l'ontologie IMAMO comme une partie importante dans l'ontologie souhaitée.

Une grande partie des vocabulaires est donc réutilisable. Après avoir analysé cette ontologie et étudié le besoin pour le nouveau système, nous avons gardé la même structure de base de cette ontologie, et d'enrichir certaines parties qui apparaissaient comme importantes pour notre système SE (Sélection Expert). La classification des couches utilisées dans la phase d'identification des termes du glossaire de IMAMO est gardée car elle contient des concepts communs et très abstraits, qui sont réutilisables dans le scénario d'application concernant le système SE. Pour plus de détail sur IMAMO voir (Karray 2012).

2.3.1.2. Enrichir IMAMO

Après avoir analysé IMAMO et le besoin des vocabulaires dans les étapes du processus de sélection, deux grandes parties de l'ontologie devaient être enrichies et alimentées avec de nouveaux concepts et propriétés: La vue informationnelle qui présente les différentes ressources (documents, humains, logiciels, outils, indicateurs, etc.), la vue événementielle qui présente les événements déclencheurs lancés après les échecs et / ou la dégradation, liée à la couche de diagnostic de fautes et expertise. La vue stratégique présentant les aspects managériaux de la stratégie de maintenance et des contrats, la vue des processus qui englobe la présentation de tous les processus techniques, administratifs et de gestion et la vue mémorielle qui présente les concepts permettant le suivi du cycle de vie de l'équipement.

Nous avons exploiter FOMES pour représenter le modèle des cas sur lequel nous avons travaillé. La figure 3 montre quelques exemples des concepts dédiés à la structure du cas implémenté sous Protégé 5.0 dans la nouvelle ontologie. Tout d'abord, nous avons créé un concept nommé **Case** regroupant tous les cas de la base. Le concept **Case** est lié avec les 3 concepts **Problem**, **Solution** et **Evaluation** par des Object *property has_problem*, *has_solution* et *has_Evaluation* respectivement.

Un Object property nommé *hasTriggering* associe une partie «Triggering event» au concept **Problem**, ce dernier est lié par object property *has_localization* avec le concept **Localisation** qui enregistre les différentes zone et sous-zone d'une alarme avec les deux Data type *Zone* et *sub_zone*. Par la suite, Le concept **Triggering** est lié avec le concept **alarm**. Les différents data type de l'alarme telles que type et niveau d'urgence d'alarme, etc., sont stockées dans la classe **alarm**. Afin de simplifier la conception, nous avons associé chaque alarme à une **class_alarm** avec Object property *belongTo*. Les équipements disponibles sont dans la classe **Equipment** et chaque équipement fait partie d'un groupe d'équipement (concept **Equipmentgroup**) avec Object property *BelongTo*. Chaque Equipmentgroup est lié au concept **Domain** par un object property *BelongTo*.

Ainsi, l'ontologie stocke des informations concernant la solution d'un cas dans le concept **solution**. A l'occurrence d'un triggering event, une action de diagnostic est nécessaire qui est stockée dans la classe **action**. Pour effectuer cette tâche, les experts sont disponibles dans la classe **Expert** définie par un ensemble de Datatype tel que *Expert_ID*, *nom*, *adresse*, *CommitementLevel*, etc. Un Object property **hasSkill** associe un skill dans un domaine spécifié au concept **Expert**. Pour gérer la disponibilité de chaque expert, object property *hasAgenda* est mise au point.

Finalement, l'ontologie contient un concept appelé **Evaluation**. Cette classe contient des informations relatives à l'évaluation du cas résolu dans le système de maintenance. Par conséquent, le concept **Evaluation** a comme Datatype : *state* (success/echec), *coast* (coût de diagnostic) et *time* (temps de diagnostic). Un object property *RelateTo* est associé à chaque évaluation d'expert. L'adéquation de l'expert avec le problème est jugée satisfaisante quand le problème est résolu d'une façon correcte.

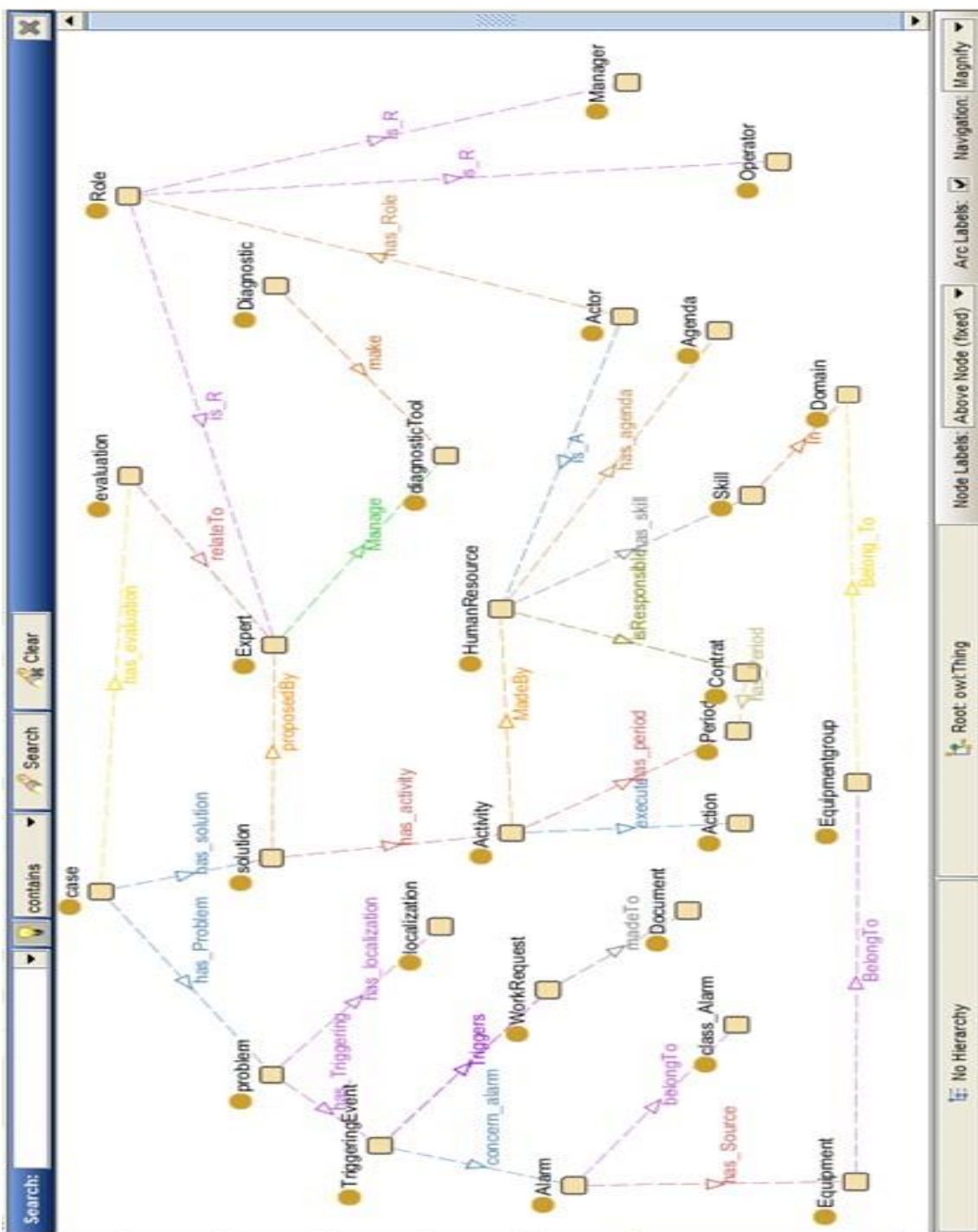


Figure 2-2 FOMES under Protégé (plugin Jambalaya)

2.3.2. Dictionnaire de données de FOMES

Pour éviter la redondance, nous ne décrivons pas toutes les concepts et les relations, mais nous ne présenterons que le dictionnaire de données associées au vue informationnelle et événementielle, afin de concentrer uniquement sur les modifications souhaité.

Dictionnaire de données de la vue informationnelle

Concept	Termes anglais	Termes français	Synonymes anglais	Description
Resource;	Resource;	Ressource;	Maintenance support	Ressources et services de gestion nécessaires pour effectuer l'entretien.
actor;	actor;	Acteur;		Personne ou système informatique qui interagit dans le processus de maintenance.
role;	Role;	Role;		Prescrits ou comportements prévus associés à une position particulière ou de statut dans le processus de maintenance.
manager;	Manager;	Manager; Gestionnaire; Administrateur; Responsable;		Rôle joué par un acteur dans le processus de maintenance. Il est le responsable de la gestion des tâches dans le processus de maintenance
Operator;	Operator;	Opérateur; Technicien; Ouvrier; réparateur;	Technician;	Rôle joué par un acteur dans le processus de maintenance. Il est le responsable des tâches de maintenance et surtout le processus d'intervention et les actions de réparation.
expert;	Expert;	Expert; Ingénieur de maintenance;		Rôle joué par un acteur dans le processus de maintenance. Il est le responsable de maintenance des tâches de surveillance, de diagnostic, des analyses pronostiques, et en particulier d'identifier les causes dysfonctionnelles et des actions de réparation à faire.
problem	Problem	problème		Un sauvegarde d'un type du problème qui est résolu avec succès.
solution	Solution	Solution		Un sauvegarde de la solution d'un problème donnée.
evaluation	Evaluation	Evaluation		C'est une évaluation d'une solution.
human resource;	Human resource;	Ressource humaine;		Acteurs humains qui contribuent à toutes les actions techniques, administratives et de gestion dans le processus de maintenance.
document;	Document;	Document;		Elément contenant quelques informations concernant le domaine de la maintenance. Il est contrôlé et identifié par un numéro dans un système de gestion de documents
contract;	Contract ;	Contrat ;	Deal ; Agreement ; Engagement ;	Type spécifique de document définissant une entente ou accord de service entre un prestataire et un propriétaire ou un exploitateur équipements physiques pour maintenir un ensemble d'équipements physiques.

				Le contrat peut être réalisée sur un modèle d'équipements (par exemple pour tous les moteurs), sur une ou plusieurs zones (par exemple le site Peugeot de Belfort) ou sur un ensemble d'équipements de production (par exemple station robotisée 1).
financial document;	Financial document;	Document financier;		Type spécifique de document contenant des informations financières sur l'ensemble des actions techniques, administratives et managériales.
technical documentation ;	Technical documentat ion;	Document technique;		Type spécifique de document contenant des informations techniques sur les équipements physiques ou des ressources logicielles (comme le manuel utilisateur, SADT, etc.)
equipment draw ;	Equipment draw;	Plan de l'équipement		Type de documentation technique. Il contient les informations sur la conception de l'équipement physique.
work order ;	Work order;	Ordre de travail; Ordre de mission; Ordre d'intervention;	job order; job ticket; work ticket;	Un ordre édité par un acteur pour planifier une intervention sur une demande de travail. Il est considéré comme un type spécifique de document contenant des informations sur les ressources allouées à l'intervention. Il est reçu par les acteurs désignés pour assurer les activités composant l'intervention.
work request;	Work request;	Demande de travail; Demande d'intervention;	Intervention request ;	Un type spécifique de document édité par un acteur lorsqu'un événement déclencheur est détecté. Chaque demande de travail est couverte par un contrat de maintenance. L'édition d'un document de demande de travail lance le processus de demande de travail.
software resource;	Software resource;	Ressource logiciel;		Acteur logiciel contribuant à toutes les actions techniques, administratives et de gestion dans le processus de maintenance.
Maintenance scheduler;	Maintenanc e scheduler;	Planificateur de maintenance, Ordonanceur de maintenance;		Type de ressource logicielle permettant la planification, l'attribution de temps considérable, et le degré élevé de coordination entre différents départements. Il est généralement initié par un ordre de travail.
Resource scheduler;	Resource scheduler;	Ordonanceur de ressource;		Type de ressource logicielle permettant aux acteurs de la maintenance de réserver tout type de ressources tels que les pièces de rechange, des ressources humaines, des outils de maintenance, voitures de

				société, et d'autres. Il permet la vérification de la disponibilité des ressources et réservant en ligne des ressources.
geo-location system;	Geo-location system ;	Système de géolocalisation ;		Type de ressource logicielle (type GPS, balises ...) qui permet d'identifier l'emplacement exact ou approximatif (zone par exemple) d'un équipement de production (même les équipements mobiles).
e-doc system;	e-doc system;	Système de gestion électronique de document;		Type de ressource logicielle appelé système de gestion de documents qui est un système informatique (ou ensemble de programmes informatiques) utilisé pour suivre et stocker les documents électroniques et / ou des images de documents papier.
CMMS;	CMMS;	GMAO;		Type de ressource logicielle. Système informatisé de gestion de la maintenance (GMAO), également connu comme Enterprise Asset Management et Système informatisé de gestion de la maintenance (SIGM). Le but de la GMAO est de simplifier la planification et les fonctions administratives de la maintenance, les achats et la gestion des stocks.
ERP;	ERP;	ERP;		Type de ressource logicielle. L'acronyme de « Enterprise Resource Planning » qui est un système informatique intégré utilisé pour gérer les ressources internes et externes, y compris les immobilisations corporelles, les ressources financières, des matériaux et des ressources humaines.
Prognostic tool;	Prognostic tool;	Outil de pronostic;		Type de ressource logicielle. Outil logiciel ou un système permettant de prédire et estimer le reste du temps à la défaillance et le risque de l'existence ultérieure d'un ou plusieurs modes de défaillance d'un niveau de confiance qui est une valeur indiquant le degré de certitude que le pronostic est correct.
Diagnostic tool;	Diagnostic tool;	Outil de diagnostic;		Type de ressource logicielle utilisé pour identifier les problèmes de reconnaissance, la localisation des troubles, les caractéristiques d'un dysfonctionnement particulier et les causes. Dans certains cas, il peut

				fournir ou recommander des actions à faire pour remédier le trouble.
Diagnostic;	Diagnostic;	Diagnostic;		Résultat fourni par un outil de diagnostic. Il est principalement le tuple (uplet) composé par le (trouble, la localisation, la cause, les actions).
external service;	External service;	Service externe;		Considéré comme un type de ressources ou de services fournis par un organisme externe à l'entreprise.
Lubricant;	Lubricant;	Lubrifiant; Consommables;	Consumable;	Substances consommables comme la graisse ou d'huile utilisée pour réduire la friction entre les composants à entretenir le matériel physique. C'est un type de ressource

Dictionnaire de données de la vue événementielle

Concept	Termes anglais	Termes français	Synonymes anglais	Description
Measure ;	Measure ;	Mesure ;	Measurement ;	Nombre de mesure ou la quantité capturée par un capteur.
Magnitude ;	Magnitude ;	Grandeur ;		Une grandeur d'une taille ou d'une quantité. Elle présente la propriété d'une mesure relative.
Data	Data	Système		Un système logiciel (abrégié par)
Acquisition Système ;	Acquisition Système ;	D'acquisition de données ;		L'acronyme DAS ou DAQ typiquement converti les signaux analogiques généralement récupérés à partir des capteurs en valeurs numériques pour le traitement.
Condition ;	Condition ;	Condition ;		Exigence environnemental ou fonctionnel définie pour superviser (tâches de surveillance) un équipement physique spécifique ou un lieu (site, par exemple) par l'utilisation de capteurs et de système d'acquisition de données
Triggering event ;	Triggering event ;	Evénement Evénement déclencheur ;	Event ;	Quelque chose qui arrive à un équipement physique et un temps donnés qui déclenche un processus spécifique de maintenance qui est le processus de demande de travail
Alarm ;	Alarm ;	Alarme ;		Type d'événement déclencheur lancé à partir d'un système d'acquisition de données indiquant qu'il y a une mesure à partir d'un capteur à violer certains conditions sur un équipement ou environnement spécifique.

class_Alarm	Class_Alarm	Classe d'Alarme		Considérez comme un type spécifique d'un ensemble d'alarmes. Il y a 11 classes possibles d'alarmes qui sont: T1 Source, ICS, BT Disjoncteur, Disjoncteur, Protection, ICT, CC Source, Fuse, Line, TSA, TR.
Improvement request ;	Improvement request ;	Demande d'amélioration ;		Un événement déclencheur spécifique ou général demandant une amélioration d'un équipement physique. Sachant que l'amélioration est la combinaison de toutes les mesures techniques, administratives et de gestion, destinée à améliorer la fiabilité d'un équipement physique, sans changer sa fonction requise.
Event observed by user ;	Event observed by user ;	Événement signalé par l'utilisateur ; Événement observé par l'utilisateur ;		Type Événement déclencheur d'un dysfonctionnement sur un équipement physique observe par l'utilisateur qui est une ressource humaine.
Notification ;	Notification ;	Notification ; Avis ;		Type d'événement déclencheur informant sur les événements futurs pour les maintenances, systématiques planifiées ou le RUL du pronostic.
Prognostic ;	Prognostic ;	Pronostic ;		Type d'événement composé par l'état de santé à un moment futur et la vie utile restante (RUL) d'un équipement physique. C'est la sortie de l'outil de pronostic.
Prognostic Tool ;	Prognostic Tool ;	Outil de pronostic ;		La description du concept sera présente dans la vue informationnelle.
Maintenance scheduler ;	Maintenance scheduler ;	Planification de maintenance ordonnanceur de maintenance ;		La description du concept sera présentée dans la vue informationnelle.

2.4. Conclusion

La construction de l'ontologie est une tâche qui exige l'expérience et l'expertise des ingénieurs des connaissances. D'après l'analyse faite dans ce chapitre, nous avons constaté que IMAMO est l'un des rares ontologies qui présentait une vision complète sur le processus de maintenance et qui permet une exploitation de la connaissance dans l'application de diagnostic. Par ailleurs, il est à noter aussi que les concepts sont données dans IMAMO et les détails de leurs attributs et relations sont omis, ce qui met en cause la reprise d'elle et renforce l'idée de faire une extension de cette ontologie. A cet effet, nous avons déterminé les parties de vocabulaires indispensables, puis nous avons obtenu la structure de l'ontologie FOMES. La validation de notre ontologie doit donc se faire au regard des tâches qui lui sont attribuées, principalement l'aide à la reformulation de requête, et à l'annotation des résultats de la recherche des cas dans un cycle de Raisonnement à Partir de Cas.

Dans notre recherche, nous allons continuer à explorer comment utiliser les technologies liées à l'ontologie pour créer explicitement un meilleur système d'aide à la décision pour la sélection des experts. Dans le chapitre suivant nous allons parler sur le système de gestion d'alarmes en exploitons l'ontologie FOMES.

Références Bibliographiques

- Bézivin, J., 2000. De la programmation par objets à la modélisation par ontologie. *Journal of Ingénierie de connaissances*.
- Corcho, O., Fernandez-Lopez, M. & Gomez-Perez, A., 2003. Methodologies, tools and languages for building ontologies: Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering*, 46, pp.41–64.
- Cranefield, S. & Purvis, M., 2000. Extending agent messaging to enable OO information exchange. In *the 5th European Meeting on Cybernetics and Systems Research*.
- Hepp, M., 2007. Possible ontologies: How reality constrains the development of relevant ontologies. *IEEE Internet Computing*, 11(1), pp.90–96.
- Karray, M.H., 2012. *Contribution à la spécification et à l'élaboration d'une plateforme de maintenance orientée connaissances*.
- Karray, M.H., Chebel-Morello, B. & Zerhouni, N., 2009. Toward a maintenance semantic architecture. In *Proceedings of the Fourth World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM)*. Athens: Springer-Verlag London, pp. 98–111.
- Mark, S.F., Gruninger, M. & Gruninger, M., 1997. On ontologies and enterprise modeling. In *Int'l Conf. Enterprise Integration Modeling Technology*. Springer-Verlag, pp. 109–121.
- Matsokis, A. et al., 2010. An Ontology-based Model for providing Semantic Maintenance. In

Proceedings of the 1st IFAC workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology (A-MEST'10).

PowerLoom, 2011.

Rasovska, I., 2006. *Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance.* UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE.

SMAC, 2009. SMAC.

Chapitre III

Chapitre 3

Service de corrélation des alarmes

Le nombre élevé des alarmes est la conséquence de plusieurs phénomènes.

Les opérateurs en charge de la supervision ont ainsi à gérer un volume de données important constitué de notifications apportant un faible niveau d'abstraction. D'où l'interprétation des alarmes qui nécessite de posséder une capacité à les traiter simultanément en grande quantité. Aujourd'hui, les travaux dans le domaine de l'intelligence artificielle et ses divers exemples d'applications laissent augurer des solutions prometteuses pour aider au diagnostic. Ces solutions dépendent en grande partie des outils de gestion disponibles pour assister l'opérateur dans ces opérations. La corrélation d'alarmes pallie ces problèmes avec deux objectifs principaux qui sont (a) la réduction du nombre d'alertes et (b) la création de notifications disposant d'un niveau d'abstraction élevé afin de proposer une vue haut niveau sur les alarmes détectées. Comme nous avons précisé dans la problématique de cette thèse, l'objectif est de traiter le flux d'alarmes à partir de corrélation des alarmes afin d'aider le manager à une étape de pré-diagnostic. Dans un autre terme, nous allons classer par regrouper les alarmes pour aider le manager à bien superviser l'état des équipements. Nous pensons qu'une corrélation sémantique peut apporter une valeur ajoutée.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons dans la première partie à la notion d'alarme et la corrélation des alarmes. La seconde partie présente les outils et les approches utilisés pour modéliser l'environnement d'exécution et les informations externes servant de support à la corrélation d'alarmes. Ensuite, nous procédons à une modélisation du problème de gestion des alarmes afin de formaliser une méthode de classification des types d'alarmes via l'ontologie FOMES.

Chapitre 3	77
3.1. <i>Travaux sur la corrélation sémantique des Alarmes</i>	78
3.2. <i>Notre approche de classification des alarmes</i>	79
3.2.1. <i>Modèle proposé</i>	79
3.2.2. <i>Construction de donnée</i>	82
3.2.3. <i>Système d'apprentissage (classification de l'alarme)</i>	83
3.3. <i>Synthèse</i>	88
<i>Références Bibliographiques</i>	89

3.1. Travaux sur la corrélation sémantique des Alarmes

Les études existantes concernent deux problèmes principaux de gestion des alarmes le premier, les fausses alarmes. Le deuxième, les alarmes redondantes ou appelées inondations d'alarme.

Ces deux problèmes empêchent les opérateurs de voir les principales causes des événements anormaux et ne pas gérer la cause racine à temps.

Pour résoudre les problèmes de fausses alarmes posés par les méthodes traditionnelles méthodes de suivi, Brooks (Brooks et al. 2004) a proposé un traitement mathématique des alarmes qui les considère en tant qu'interactions multi-variables entre variables de processus pour calculer les valeurs des seuils d'alarme. Cette méthode contribue à réduire les fausses alarmes substantielles. Chen (2010) a introduit une approche statistique en construisant une second-limite de contrôle de niveau basée sur des propriétés connues de distribution statistique de l'intérieur et de l'extérieur de contrôle observations (Chen 2010). Dans l'étude (Hubballi & Suryanarayanan 2014), les auteurs ont étudié la technique de minimisation des fausses alarmes dans le champ d'application de système de détection d'intrusion de réseau basé sur signature 'NIDS'.

Comme nous l'avons noté, le deuxième défi principal de gestion d'alarme est de faire face aux inondations d'alarme qui devient un problème majeur de sécurité. Une inondation d'alarme a été définie par ISA (ISA Instrument Society of America. Research Triangle Park 2009) 18.2 comme étant 10 ou plus d'alarmes augmenté en 10 minutes par opérateur. Dans cette portée, quelques travaux ont également été utilisés pour l'analyse de corrélation d'événements modèle effet-cause à deux couches afin de réduire le Nombre d'alarmes (Schleburg et al. 2013; Higuchia et al. 2009; Yang et al. 2013). En tant que stratégie de contrôle Inondations d'alarme pour les transitions de procédés chimiques, Zhu (Zhu et al. 2014) propose une faute artificielle fondée sur le système immunitaire méthode de diagnostic «AISFD» et méthode de base bayésienne Gestion dynamique des alarmes 'BEDAM' pour générer des alarmes utiles dans les situations de défaut. Takeda et al. (Takeda et al. 2014) enquête sur un système d'alarme logique et systématique méthode de conception qui explique explicitement la conception des justifications de savoir-pourquoi l'information pour la bonne gestion des changements au cours du cycle de vie de l'usine. Hu et al. (Hu et al. 2015) propose une méthode pour détecter les alarmes corrélées et quantifier le niveau de corrélation. De plus, en tenant compte de l'historique des alarmes pour L'analyse des alarmes est une méthode utile pour améliorer l'alarme stratégie de gestion, en particulier dans le cas de la grande échelle application et ensemble de données massives (Li et al. 2015). Dans ce cadre, Fanti et al.(Fanti et al. 2012) fournissent une approche en utilisant l'Unified Langage de modélisation et filets de Petri chronométrés colorés dans pour

modéliser et analyser les alarmes dans l'intégration de la Healthcare Enterprise 'IHE' Communication d'alarme Management 'ACM'. Li et al. (Li et al. 2015) a proposé une distribution Stratégie parallèle de gestion des alarmes pour résoudre le problème causé par le manque d'évolutivité et l'efficacité de Stratégie traditionnelle de gestion des alarmes dans le scénario de données d'alarme croissantes et rapides. La proposition de la stratégie vise à réduire les alarmes sur les tableaux de bord de station opérateur en situation normale et alarme situation d'inondation. Les travaux existants, en particulier ceux décrits ci-dessus, a réussi à développer la gestion des alarmes approche grâce au filtrage d'alarme basé sur la corrélation, puis affichez des alarmes plus précises sur tableaux de bord de l'opérateur. Parmi celles-ci, quelques questions devraient nous être demandées: ces solutions sont-elles vraiment utiles dans le processus de diagnostic? En supposant que nous arrivons à réduire le nombre d'alarme, quel est le pourcentage de réduction? La réduction ne pose-t-elle pas de problème de fiabilité du système?

La corrélation des événements dans les travaux distingués a été limitée à des valeurs d'attribut syntactiquement identiques au lieu de répondre à des significations d'attributs sémantiquement équivalentes.

L'application de la corrélation d'alarme sémantique a été utilisée avec une unité de traitement à la diéthanolamine (DEA) qui est un processus très important dans la pétrochimie industrie des procédés. (Moser et al. 2009) introduit une approche qui utilise des technologies sémantiques, des ontologies, pour définir des corrélations d'événements pour faciliter la sémantique d'événement dérivée de l'équivalence sémantique, le sens hérité et les relations entre différents termes ou entités. Dans (Lima et al. 2013) une étude de ce cas est présentée au traitement avancé des alarmes dans le but de trouver des alarmes corrélées avec le temps avec l'aide de flux de connaissances du processus modélisé via une ontologie DEA comme exemple, qui aide à la recherche d'alarmes inutiles. Cette étude est basée sur un système d'apprentissage. Leur technique de corrélation est basée sur des jointures et nécessite des concaténations complexes pour exprimer des corrélations riches entre les alarmes. Selon nos recherches, le concept de la corrélation est utilisé en granularité différente, elle peut être selon le moment de l'apparition (Lima et al. 2013) ou la cause racine (Zhang et al. 2015).

3.2. Notre approche de classification des alarmes

3.2.1. Modèle proposé

En raison du nombre croissant d'alarmes présentées aux opérateurs de l'usine industrielle, diverses industries concernées par la sécurité de ses processus travaillent dur pour minimiser le nombre d'occurrences de telles alarmes à travers une étude appelée rationalisation d'alarme (Leitao et al. 2012).

Au cours de la rationalisation, une équipe multitâche est sélectionnée pour évaluer la nécessité de chaque alarme configurée. Le défi consiste à maintenir le système surveillé de manière à ce que le nombre d'occurrences d'alarmes présentées à l'opérateur soit cohérent avec la capacité humaine de traiter et traiter l'information (EEMUA 1999).

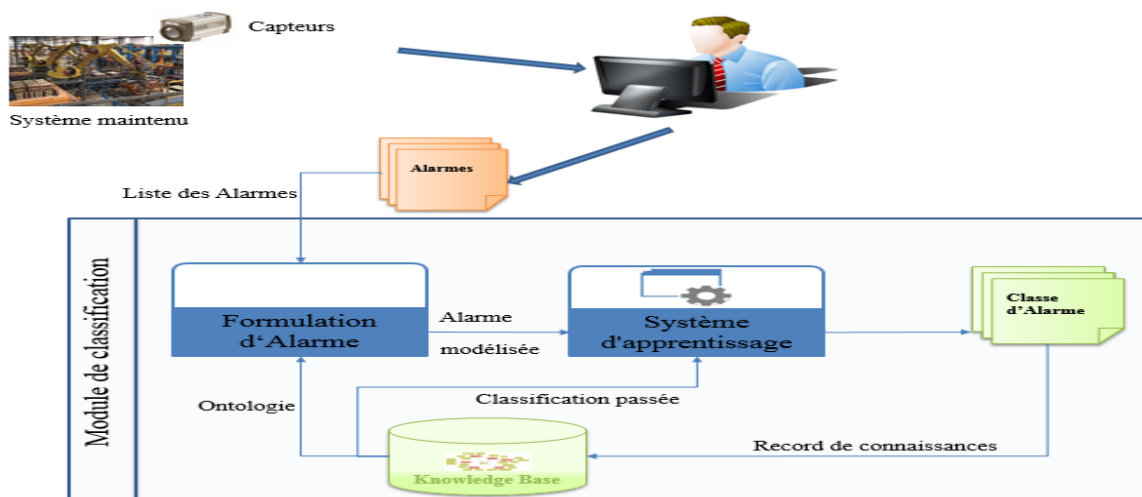


Figure 3-1 Schéma général de l'approche proposée pour la classification d'alarme.

Notre approche de gestion des alarmes est schématisée dans la figure 3-1. Elle est composée principalement par le système d'apprentissage. Les informations concernant les alarmes sont collectées en cours de fonctionnement des équipements. Ces connaissances sont emmagasinées dans un historique de fonctionnement qui contient des informations sur les situations de dysfonctionnement d'un équipement. Les informations contenues dans l'historique de fonctionnement représentent la base d'apprentissage supervisé du réseau de neurones. La réussite d'une telle application est donc tributaire de la qualité des informations contenues dans l'historique de fonctionnement.

L'objectif est d'en apprendre davantage sur l'apparition d'alarmes correspondant à une situation anormale basée sur des données d'alarme historiques, d'analyser leurs exécutions et ensuite d'extraire des connaissances concernant les équipements défaillants. Vous trouverez plus de détails sur ces étapes dans les sections suivantes.

La base de connaissances dans ce processus est construite selon l'ontologie de domaine de maintenance FOMES (Bekkaoui et al. 2015), qui est l'extension de l'ontologie IMAMO (Ontologie de la gestion de la maintenance industrielle) (Karray et al. 2012) afin de modéliser les alarmes ainsi que d'interpréter et d'extraire des connaissances.

Le rôle de la phase de formalisation de l'alarme est de préparer les données dans un format adéquat pour l'exploitation minière. Nous construisons dans cette étape un «contexte formel» approprié, basé sur les connaissances ontologiques. Le module de classification reçoit une nouvelle liste d'alarme qui les analyse pour présenter les connaissances sous une forme structurée. Ensuite, cette liste est stockée dans la base de connaissances.

Une fois que les alarmes sont structurées et stockées en tant que nouvelles instances dans la base de connaissances, la phase d'apprentissage est initiée pour les interpréter et extraire de nouvelles connaissances. Ainsi, l'algorithme de classement est formé, il peut être utilisé pour classer les futures alarmes.

La corrélation sémantique basée sur des termes dérivés qui partagent la même signification héritée que celle associée affine encore plus les concepts de corrélations. L'utilisation d'ontologies pour définir les hiérarchies d'héritage de la terminologie de domaine isole cet aspect et facilite la définition d'ensembles de corrélation si les valeurs des attributs d'événement peuvent être plus fines mais lorsque ce niveau de détail n'a aucune importance.

Les alarmes sont regroupées dans des catégories d'Alarm_group. La corrélation sémantique héritée peut maintenant être utilisée pour définir des corrélations sémantiques sur toutes les pannes pour les équipements d'une certaine zone. Les informations de cette corrélation peuvent ensuite être utilisées pour lier chaque alarme par leur équipement au niveau des groupes des équipements.

Enfin, les ontologies permettent de définir les relations entre les termes. Les corrélations sémantiques basées sur la relation permettent d'associer plusieurs attributs d'événement de chaque type d'événement qui définissent la signification sémantique de ce tuple. En d'autres termes, les corrélations sémantiques basées sur la relation permettent la corrélation des différents événements, en utilisant leurs relations sémantiques.

Sur la base de l'idée ci-dessus, nous donnons un algorithme spécifique pour calculer la corrélation d'alarme dans cette section.

Nous nous situons principalement dans la phase de classification des alarmes à travers une étude comparative entre trois méthodes de métaheuristique. La tâche de classification (ou discrimination) consiste à classer un ensemble d'objets, ou attribuer à chacun une classe (ou catégorie) parmi plusieurs classes définie à l'avance. Un algorithme qui réalise automatiquement cette classification est appelé classifieur (Cornuéjols et al. 2002).

Nous intégrons notre algorithme de corrélation d'alarme dans le processus de détection des défauts.

3.2.2. Construction de donnée

L'extraction du flux de connaissances du processus a été effectuée en utilisant l'instance d'ontologie FOMES. Pour l'application de la corrélation sémantique d'alarme, les alarmes sur le FOMES ont été séquencées en utilisant les concepts décrits à la figure 3-2.

L'ajout d'informations issues de la structuration des connaissances permet d'améliorer l'analyse de l'exploitation des processus industriels.

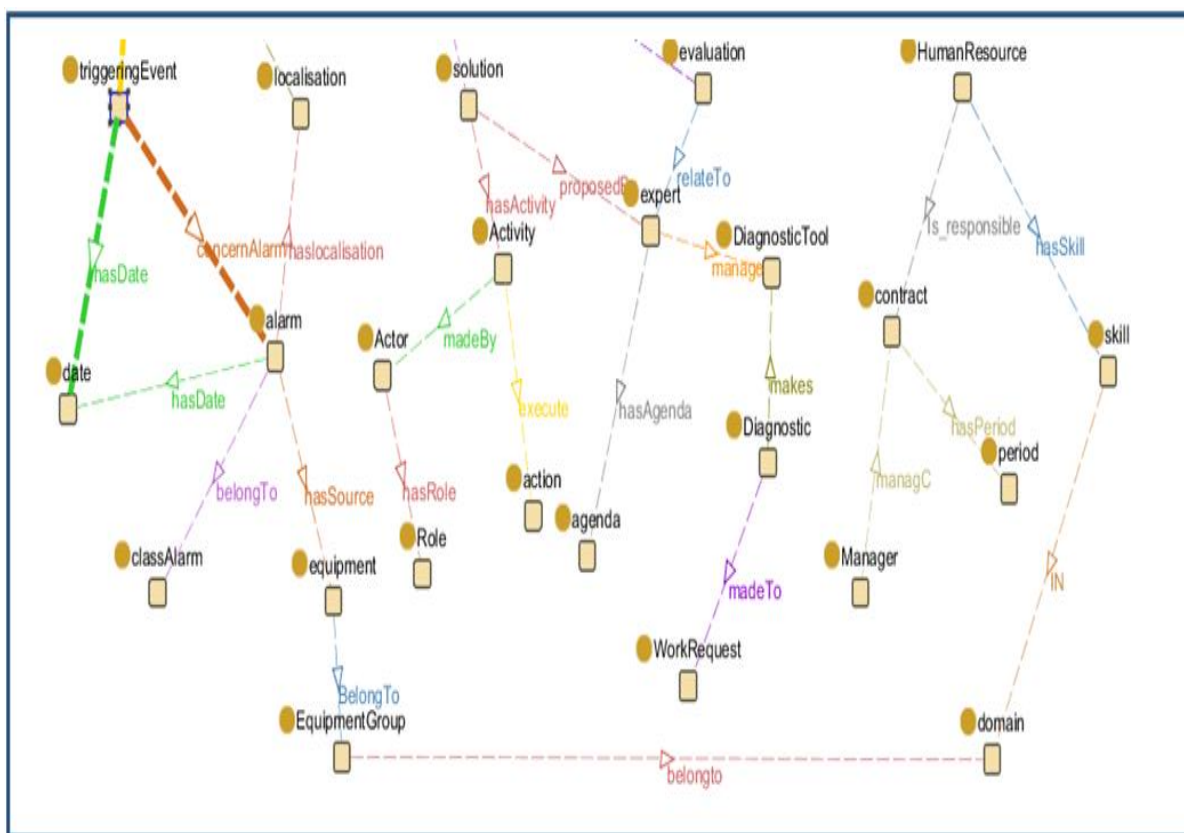


Figure 3-2 Une partie des concepts FOMES sous Protégé (plugin Jambalaya)

L'alarme de classe est caractérisée par différents types de données tels que type d'alarme, niveau d'urgence, etc.

Selon les exigences de l'installation de conception, nous avons associé chaque alarme à une catégorie d'alarme avec la propriété d'objet appartenant. Les équipements disponibles sont instanciés dans l'équipement de classe.

Chacun de ces équipements fait partie d'un groupe d'équipement avec la propriété d'objet appartenant. Une propriété d'objet appartenant est associée à chaque groupe et

zone d'équipement pour établir une relation implicite entre l'alarme et l'équipement. Nous avons distingué deux types d'équipements dans notre modélisation, l'équipement_différé et l'équipement_d'alarm_source. En fait, nous créons deux propriétés Object la première has_source associe Alarm to Equipment et la seconde est belongsTo associe chaque Alarme à un EquipmentGroup. La classe de localisation enregistre les différentes zones et sous-zones d'une alarme avec la zone et la sous-zone des deux types de données. La propriété d'objet has_localization associe chaque alarme à la zone et à la sous-zone.

Tableau 3-1 Alarm dataset parameters (Paramètres de l'ensemble de données d'alarme)

Information/ Description	description of alarm: Type of triggering event launched from a data acquisition system indicating that there is a measure from a sensor violating some conditions concerning a specific equipment or environment
Alarm Source	zone of alarm :Position of source alarm in a production area
Alarm Source equipment	monitoring equipment:
Level of Emergency	urgent /no urgent: level of emergency alarm
Date/Time Alarm	date and time of occurrence alarm
Failed Equipment	physical equipment characterized by inability to perform a required function,

3.2.3. Système d'apprentissage (classification de l'alarme)

Nilsson relie la définition de l'apprentissage à «l'acquisition de connaissances», «la compréhension des compétences», l'expérience par réutilisation et la modification d'une tendance de comportement par l'expérience »(Nilsson 1998). L'apprentissage par machine se réfère à un système qui peut acquérir et intégrer automatiquement des connaissances, un système capable de tirer des leçons de l'expérience, de la formation, de l'observation analytique et d'autres moyens. Ainsi, les techniques d'apprentissage par machine sont considérées comme le cœur de tout processus d'apprentissage, pour produire des connaissances acquises (acquises, découvertes)(Lowe & Shirinzadeh 2005).

Les classificateurs dans le processus d'apprentissage peuvent être basés sur différents cadres: les réseaux bayésiens (An et al. 2006; Tylman 2008; Benferhat et al. 2013), les réseaux neuronaux (Mukkamala et al. 2002; Thomas & Balakrishnan 2008), les arbres de décision (Karray et al. 2014; Tabia & Benferhat 2008), les algorithmes immunitaires Artikel(Zeng et al. 2011), etc. La plupart des travaux n'ont pas pris en tenant compte du gain qui peut être attendu lors de l'intégration de connaissances supplémentaires pendant le processus d'apprentissage. Dans ce travail, nous nous concentrons sur un comparatif des trois algorithmes de métahéurie Simulated

Annealing (SA), Algorithme génétique (GA) et de l'optimisation de l'essorage des particules (PSO) basé sur l'ontologie des alarmes.

Nous proposons une analyse comparative des trois approches adoptées pour traiter le problème de la classification des alarmes: SA, GA et PSO. La comparaison des méthodes a été faite en tenant compte de la valeur de la fonction de condition physique. Une telle méthode dépend fortement de l'expérience d'exploitation et de la base de connaissances, car le processus d'analyse commence par l'historique de l'alarme qui est un fichier contenant tous les messages d'alarme passés.

3.2.3.1. Optimisation par essaim de particules 'Particle Swarm Optimization (PSO)'

L'optimisation par essaim de particules est une technique évolutionnaire qui utilise une population de solutions candidates pour développer une solution optimale au problème. Le degré d'optimalité est mesuré par une fonction fitness (Clerc & Kennedy 2001; Kennedy & Eberhart 1995; Kennedy & Eberhart 2001). Il est inspiré de comportement collectif et l'intelligence émergente qui existent dans les sociétés à population organisée. Les membres de la population, particules, sont dispersées dans l'espace du problème (Kennedy & Eberhart 1995), ainsi que le comportement de l'essaim peut être décrit en se plaçant du point de vue d'une particule (Kennedy & Eberhart 2001; Omran 2004; Van den Bergh 2002). Au départ de l'algorithme, un essaim est réparti au hasard dans l'espace de Recherche, chaque particule ayant également une vitesse aléatoire.

3.2.3.2. Recuit simulé

La méthode du recuit simulé est une généralisation de la méthode MonteCarlo ; son but est de trouver une solution optimale pour un problème donné. Elle a été mise au point par trois chercheurs de la société IBM : (Kirkpatrick et al. 1983), et indépendamment par V. Cerny en 1985 à partir de l'algorithme de Metropolis ; qui permet de décrire l'évolution d'un système thermodynamique. (LIACS, 2009).

Le pseudo code :

```
On génère une solution initiale  $x$ .
pour  $i = 1$  à  $N$  faire
  pour  $j = 1$  à  $M_i$  faire
    Dans  $\mathcal{V}(x)$ , on génère  $x'$  aléatoirement ou par recherche d'optimum.
    si  $f(x') \leq f(x)$  faire
       $x \leftarrow x'$ ,
    sinon faire
       $x \leftarrow x'$  avec probabilité  $\exp(\frac{f(x)-f(x')}{T_i})$ .
    fin
  fin
fin
```

3.2.3.3. Algorithme Génétique

Les algorithmes génétiques sont des méthodes de recherche stochastiques et des techniques d'optimisation inspirés par l'évolution naturelle (mutation, croisement, ...) pour générer de meilleures solutions à travers des générations. Ils sont initialement conçus pour résoudre des problèmes d'optimisation à variables discrètes. Ensuite, ils ont été appliqués à l'apprentissage automatique dans les années 1980 (Talbi 2009).

Dans un premier temps, une population de points de recherche initiales appelé «individus» est générée. Chaque individu est un codage ou une représentation (binaire, entiers, ...) pour une solution candidate d'un problème donné (de même qu'un chromosome est formé d'une chaîne de gènes) (voir figure 3.3 .a). Dans chaque chromosome, les gènes sont les variables du problème et leurs valeurs possibles sont appelées allèles (alleles). (Voir figure 3.3 .b). La fonction de codage associe à chaque phénotype (la solution du problème réel) une représentation de génotype. Le génotype est utilisé au cours de l'étape de reproduction de l'algorithme alors que le phénotype est nécessaire pour l'évaluation du coût d'un individu (Voir figure 3.3 .c).

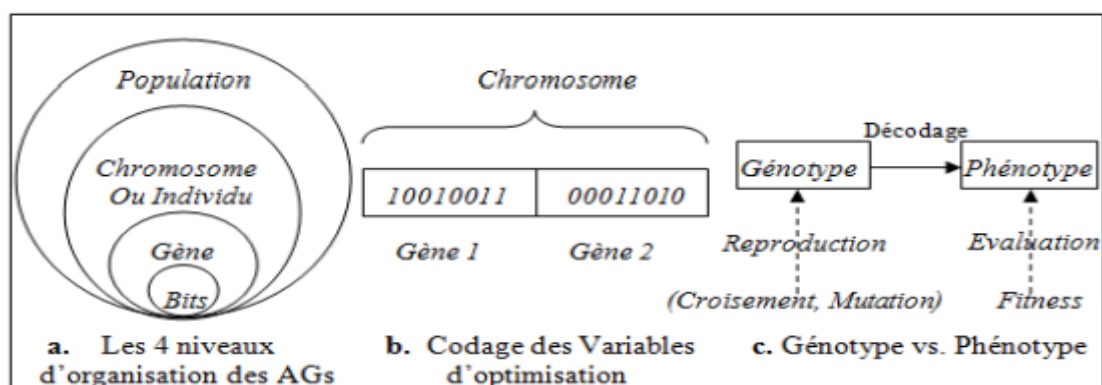


Figure 3-3 Les concepts principaux utilisés dans les algorithmes génétiques (Talbi 2009)

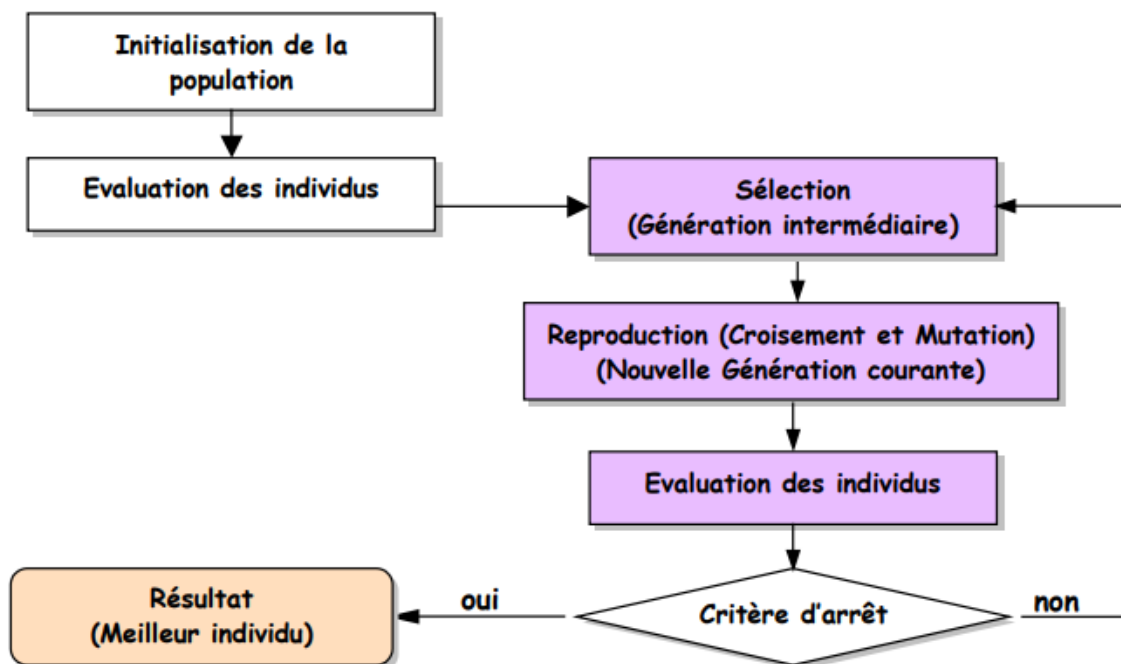


Figure 3-4 Organigramme de l'algorithme génétique (Talbi 2009)

La taille de la population, généralement fixe au cours du déroulement de l'algorithme et notée N , est fréquemment de l'ordre de plusieurs centaines d'individus dans les algorithmes génétiques. En effet, les justifications théoriques de ces algorithmes indiquent qu'il faut des populations très grandes pour que l'algorithme fonctionne optimalement. Cela est aussi souhaitable pour conserver une bonne diversité à la population, permettant ainsi d'échapper aux optima locaux. Inversement, les considérations pratiques de coût computationnel militent pour l'emploi de populations de taille limitée, sous peine de ne pas pouvoir répéter suffisamment les étapes nécessaires à l'évolution de la population (Cornuéjols & Miclet 2010).

Par ailleurs, la qualité de la population initiale peut contribuer à l'obtention rapide des meilleurs individus (fittest individuals). Les heuristiques peuvent être utilisées pour avoir des solutions initiales optimales. Cependant, pour ces stratégies d'initialisation, un autre mécanisme additionnel est utilisé pour empêcher la population d'être dans la même région de l'espace de recherche. Par exemple, une part de la population pourrait être générée aléatoirement afin d'introduire une diversification de l'espace de recherche alors que le reste de la population est optimisé (Zäpfel et al. 2010).

Une fonction d'évaluation est utilisée pour associer une mesure de «fitness» pour chaque solution indiquant sa qualité. Au cours de l'évolution, selon le principe darwinienne de la survie du plus fort, les meilleurs individus (fittest

individuels) sont sélectionnés pour la reproduction selon différentes stratégies de sélection (par exemple élitiste, sélection par roulette.....).

Les RNA ont été développés sous forme de modèles parallèles de réseau distribué basés sur l'apprentissage biologique du cerveau humain. Il y a de nombreuses applications d'RNA dans l'analyse de données, Parmi les différents types d'RNA, le perceptron multicouches (noté MLP pour Multi Layer Perceptron en anglais) sont tout à fait populaires et utilisés pour le travail actuel.

Les expériences ont été effectuées pour juxtaposer trois approches métaheuristique bien connues (SA, GA et PSO). Nous avons créé un ensemble de données d'alarmes modélisées. La procédure d'évaluation a été effectuée comme suit. Initialement, l'ensemble de données a été divisé en deux sous-ensembles, l'un pour la formation et l'autre pour la validation en utilisant la technique de retenue. Ensuite, l'ensemble de données de formation est utilisé pour former le réseau Multi-Layer Perceptron (MLP).

La multi-couches (MLP) est l'un des modèles de réseaux neuronaux bien connus. L'architecture MLP se compose d'une couche d'entrée, d'une couche de sortie et d'une ou plusieurs couches cachées. Dans la couche d'entrée, aucun calcul n'est effectué, contrairement aux deux autres couches. Un réseau MLP simple est représenté à la figure 3-5.

Le réseau de neurone MLP, utilisé dans ce travail, est composé de trois couches : entrée, cachée et sortie.

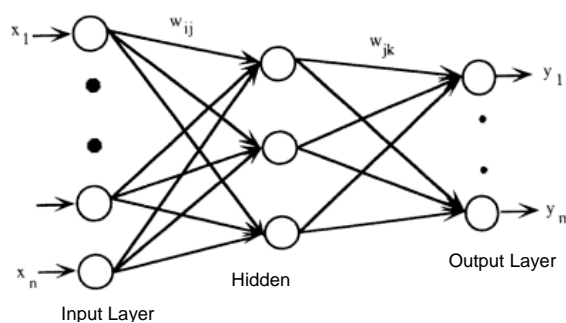


Figure 3-5 Réseau de neurone MLP (Rumelhart et al. 1986)

La propagation du dos est l'un des algorithmes les plus peuplés (Rumelhart et al. 1986) utilisés pour ajuster les poids synaptiques du MLP. Principalement, cette approche implique deux phases (avant et arrière).

- Phase avant: chaque entrée x est alimentée dans la couche d'entrée. Ensuite, de la couche d'entrée à la couche de sortie, les activités des neurones sont ajustées et un ensemble de modèles de sortie sont générés. Ensuite, ces modèles de sortie sont comparés à la sortie cible et les valeurs d'erreur sont calculées.

- Phase vers l'arrière: lorsque la phase avant est accomplie, les biais de réseau et les poids sont mis à jour à l'aide des valeurs d'erreur, en partant de la couche de sortie vers la couche d'entrée. Ceci est fait pour réduire le réseau d'erreur.

L'algorithme peut nécessiter de nombreuses itérations, jusqu'à ce qu'un réseau de performance pré-satisfait soit atteint.

Une fois que le modèle a été créé, un bloc de méthodes métaheuristique (SA, GA et PSO) pour sa configuration particulière est utilisé pour ajuster le modèle inféré. En effet, la métaheuristique basée sur MLP est appliquée pour configurer les paramètres (pondérations) du réseau neuronal MLP en utilisant des algorithmes de formation basés sur des approches d'optimisation métaheuristique mono-objectives.

De cette façon, on espère que les performances du MLP seront améliorées. Ensuite, l'ensemble de données de test est utilisé pour vérifier la performance en termes de valeur de fonction objective du modèle résultant.

La fonction de fitness pourrait être définie comme suit:

$$f_{obj} = \min (FPR + FNR)$$

Où FPR est le taux False Positif et FNR est le taux False Négative.

Nous allons présenter les résultats d'application dans le chapitre 5.

3.3. Synthèse

Dans les travaux étudiés, la corrélation des alarmes est basée plusieurs critères. Certaines approches s'intéressent à traiter les fausses alarmes (Brooks et al. 2004) (Hubballi & Suryanarayanan 2014). Mais la plupart des études sont basées sur une corrélation en fonction du temps d'apparition des alarmes. La corrélation des alarmes dans les travaux distingués a été limitée à des valeurs d'attribut syntactiquement identiques au lieu de répondre à des significations d'attributs sémantiquement équivalentes. Dans cette nouvelle tendance, la corrélation sémantique est peu intégrée dans les modèles étudiés. Nous pouvons tout de même noter les travaux (Lima et al. 2013) (Zhang et al. 2015). Nous avons pu constater dans la littérature que bien souvent les approches n'intègrent pas l'équipement comme un critère de corrélation. Dans notre travail, nous avons réussi à classer le flux d'alarme en fonction de

l'équipement. Cette approche permet au manager de faciliter à prendre une décision rapide pour déclencher un processus de diagnostic en fonction de l'équipement défectueux.

Références Bibliographiques

- An, X., Jutla, D. & Cercone, N., 2006. Privacy Intrusion Detection Using Dynamic Bayesian Networks. In *ICEC - International Conference on Electronic Commerce, Fredericton, New Brunswick, Canada*.
- Bekkaoui, M., Karray, M.H. & Sari, Z., 2015. Knowledge formalization for experts' selection into a collaborative maintenance platform. In *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier Ltd., pp. 1445–1450. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.290>.
- Benferhat, S. et al., 2013. An intrusion detection and alert correlation approach based on revising probabilistic classifiers using expert knowledge. *Applied Intelligence*, 38(4), pp.520–540.
- Van den Bergh, F., 2002. *An Analysis of Particle Swarm Optimizers*. Pretoria, South Africa.
- Brooks, A.R. et al., 2004. A new method for defining and managing process alarms and for correcting process operation when an alarm occurs. *Journal of Hazardous Materials*, 115, pp.169–174.
- Chen, T., 2010. On reducing false alarms in multivariate statistical process control. *Chemical Engineering Research and Design*, 88(4), pp.1–11. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2009.09.003>.
- Clerc, M. & Kennedy, J., 2001. The Particle Swarm: Explosion, Stability and Convergence in a Multi-Dimensional complex Space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6.
- Cornuéjols, A. et al., 2002. *Apprentissage artificiel: concepts et algorithmes* 2e éd. Eyrolles, ed.,
- Cornuéjols, A. & Miclet, L., 2010. *Apprentissage artificiel: concepts et algorithmes* 2nd Ed. wit. Eyrolles, ed.,
- EEMUA, T.E.E. and M.U.A., 1999. *Alarm Systems A Guide to Design, Management and Procurement*,
- Fanti, M.P. et al., 2012. Modelling alarm management workflow in healthcare according to IHE framework by coloured Petri Nets. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(4), pp.728–733. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2010.11.003>.
- Higuchia, F. et al., 2009. Use of Event Correlation Analysis to Reduce Number of Alarms. *Computer Aided Chemical Engineering*, 27, pp.1521–1526.
- Hu, W., Wang, J. & Chen, T., 2015. A new method to detect and quantify correlated alarms with occurrence delays. *Computers and Chemical Engineering*, 80, pp.189–198. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.05.028>.
- Hubballi, N. & Suryanarayanan, V., 2014. False alarm minimization techniques in signature-based intrusion detection systems: A survey. *Computer Communications*, 49, pp.1–17. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2014.04.012>.
- ISA Instrument Society of America. Research Triangle Park, 2009. *Management of Alarm Systems for the Process Industries*,
- Karray, M.H., Chebel-Morello, B. & Zerhouni, N., 2012. A formal ontology for industrial maintenance. *Applied Ontology*, 7(3), pp.269–310.

- Karray, M.H., Chebel-Morello, B. & Zerhouni, N., 2014. PETRA: Process Evolution using a TRAcE-based system on a maintenance platform. *Knowledge-Based Systems*, 68, pp.21–39. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2014.03.010>.
- Kennedy, J. & Eberhart, R., 1995. Particle Swarm Optimization. In *IEEE International Conference on Neural Networks*. Perth, Australia.
- Kennedy, J. & Eberhart, R.C., 2001. Swarm Intelligence. *Morgan Kaufman Publishers*.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. & Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220, pp.671–680.
- Leitao, G., Guedes, L.A. & De Araujo, J., 2012. A correlation-based approach to determining related alarms in industrial processes. In *Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*.
- Li, D. et al., 2015. A distributed parallel alarm management strategy for alarm reduction in chemical plants. *Journal of Process Control*, 34, pp.117–125. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2015.07.008>.
- Lima, R. et al., 2013. Semantic alarm correlation based on ontologies. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, pp.0–3.
- Lowe, G. & Shirinzadeh, B., 2005. A Knowledge-base Self-Learning System. In *ACIT - Automation, Control, and Applications. Novosibirsk, Russia*.
- Moser, T. et al., 2009. Semantic event correlation using ontologies. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5871 LNCS(PART 2), pp.1087–1094.
- Mukkamala, S., Janoski, G. & Sung, A., 2002. Intrusion Detection Using Neural Networks and Support Vector Machines. In *IJCNN'02 International Joint Conference on Neural Networks, Honolulu Hawaii*. pp. 1702–1707.
- Nilsson, N.J., 1998. *Introduction to Machine Learning AN EARLY DRAFT OF A PROPOSED TEXTBOOK*, Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21172442>.
- Omran, M.G.H., 2004. *Particle Swarm Optimization Methods for Pattern Recognition and Image Processing*. Pretoria, South Africa.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. & Williams, R.J., 1986. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, pp.533 – 536.
- Schleburg, M. et al., 2013. A combined analysis of plant connectivity and alarm logs to reduce the number of alerts in an automation system. *Journal of Process Control*, 23(6), pp.839–851. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2013.03.010>.
- Tabia, K. & Benferhat, S., 2008. On the Use of Decision Trees as Behavioral Approaches in Intrusion Detection. In *ICMLA '08. Seventh International Conference on Machine Learning and Applications*.
- Takeda, K. et al., 2014. A design method of a plant alarm system for first alarm alternative signals using a modularized CE model. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(5), pp.406–411. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2014.06.007>.
- Talbi, E.-G., 2009. *Metaheuristics: From Design to Implementation*, Wiley.
- Thomas, C. & Balakrishnan, N., 2008. Performance enhancement of Intrusion Detection Systems using advances in sensor fusion. In *11th International Conference on Information Fusion*. pp. 1–7.
- Tylman, W., 2008. Anomaly-Based Intrusion Detection Using Bayesian Networks. In *Third International Conference on Dependability of Computer Systems DepCoS-RELCOMEX*. pp. 211 – 218.

- Yang, Z., Wang, J. & Tongwen, C., 2013. Detection of Correlated Alarms Based on Similarity Coefficients of Binary Data. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(4), pp.1014 – 1025.
- Zäpfel, G., Braune, R. & Bögl, M., 2010. *Metaheuristic Search Concepts* 1e éd., Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K.
- Zeng, J. et al., 2011. A novel intrusion detection approach learned from the change of antibody concentration in biological immune response. *Applied Intelligence*, 35(1), pp.41–62.
- Zhang, D. et al., 2015. Research of alarm correlations based on static defect detection | Istraživanje korelacija alarma na temelju detekcije statičkog kvara. *Tehnicki Vjesnik*, 3651, pp.311–318.
- Zhu, J. et al., 2014. A dynamic alarm management strategy for chemical process transitions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 30(1), pp.207–218. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2013.07.008>.

Chapitre IV

Chapitre 4

Service de Sélection des Experts

La tâche de diagnostic repose essentiellement sur l'expertise humaine. Ce

qui explique que le choix de l'expert influe sur le coût et le temps engendré. L'objectif de ce chapitre consiste à montrer l'efficacité et les avantages d'introduire la notion de la compétence dans une sélection d'experts lors d'un processus de diagnostic. Nous suivons le Retour d'EXpérience (REX) comme une approche intégrante dans la démarche de management des connaissances, permettant d'analyser et de formaliser les expériences pour en faire profiter toutes les compétences des experts. Dans la structure du chapitre, nous présentons d'abord la notion de la compétence. Par la suite, nous avons élargi notre recherche par un état de l'art sur le processus de sélection dans d'autre domaine. En suite, nous proposons une formalisation du contexte et développement du mécanisme de sélection des experts.

Chapitre 4	92
4.1. <i>Compétence: concept et caractéristiques</i>	93
4.2. <i>Problématique de la sélection des acteurs dans le domaine industriel</i>	96
4.3. <i>Formalisation du contexte et définition d'un mécanisme de sélection</i>	99
4.3.1. <i>Approche de sélection des experts par le RàPC</i>	99
4.4. <i>Synthèse</i>	106
<i>Références Bibliographiques</i>	106

4.1. Compétence: concept et caractéristiques

Le concept de compétence a été largement discuté, que ce soit par des psychologues, des sociologues, des ergonomes, des gestionnaires ou encore des économistes. Sa présence au cœur de multiples approches théoriques justifie sa pluridisciplinarité induisant une diversité de définitions proposées. Nous nous présentons certaines définitions, les plus utilisées dans le domaine industriel

(De Montmollin 1986) considère la compétence comme « un ensemble stabilisé de savoir et savoir-faire, de conduites types, de procédures standards, de types de raisonnements que l'on peut mettre en œuvre sans apprentissage nouveau ».

La définition la plus communément admise a été proposée par (Vergnaud 1998) qui présente la compétence comme: «la mise en œuvre combinée de savoirs (connaissances), savoir-faire (pratiques maîtrisées) et savoir-être (attitude et comportement) ».

Dans le cadre du Retour d'Expérience, Boyé et Ropert propose la définition suivante (Boyé & Ropert 1994) : « la compétence est une capacité d'agir dans un environnement professionnel donné. Elle correspond au rapprochement entre des savoirs maîtrisés, un potentiel individuel et une organisation du travail, laquelle distribue la légitimité à exercer un savoir. C'est autant une caractéristique liée à la personne qu'à l'organisation du travail ».

L'AFNOR donne la définition suivante des compétences : « La mise en œuvre, en situation professionnelle, de capacités qui permettent d'exercer convenablement une fonction ou une activité »(AFNOR 2002).

En s'inspirant de la littérature,(Bonjour et al. 2002) proposent une définition qui met l'accent sur la finalité, la contextualisation et sur la performance associée à la compétence en termes de valeur pour l'entreprise: « La compétence est la mobilisation d'un ensemble de savoirs hétérogènes, aboutissant à la production d'une performance reconnue, par rapport à un environnement donné et dans le cadre d'une activité finalisée ».

Selon (Boucher & Burlat 2003), la compétence est « une aptitude sans cesse reconstruite d'un acteur, à mobiliser de manière efficiente un certain nombre de ressources immatérielles qu'il a intériorisées (connaissances, aptitudes psychologiques et sociales,...) et de ressources matérielles de son environnement (outils, instruments, sources d'informations, etc...), pour répondre aux objectifs et au contexte propres à une situation professionnelle ».

Cependant, l'Association pour la Certification des Compétences Professionnelles (ACCP) en retient la définition élargie suivante : « L'ensemble des capacités démontrées par les preuves de la vie professionnelle et sociale courante » (ACCP 2005).

A la lumière de cette revue de littérature, bien que la diversité des définitions proposées, il est remarquable que la définition de la compétence est liée par les concepts de savoir/ connaissance, savoir-faire, savoir-être et la capacité.

Harzallah et Vernadat (Harzallah & Vernadat 2002) ont défini le triptyque « savoirs, savoir-faire, savoir-être » comme tandis que (Pieron 2005) donne une définition à la capacité.

- ❖ **Savoir** : Ils sont décomposé la définition en trois sous termes. Les savoirs théoriques; Composés de concepts, lois, connaissances disciplinaires, etc. qui permettent de comprendre un phénomène et d'orienter des décisions. Les savoirs sur l'existant ; Ils désignent l'ensemble des connaissances concernant le contexte ou l'environnement dans lequel une compétence est mobilisée (exemple: connaître les règles de sécurité dans l'atelier). Les savoirs procéduraux; Ils visent à décrire les méthodes, les modes opératoires « comment s'y prendre pour... ». Ils sont définis afin de faciliter la réalisation d'une action (exemple : méthode d'analyse de la valeur).
- ❖ **Savoir-faire** : elle peut aller de la capacité à exécuter une tâche prescrite à la gestion des situations complexes et inédites, en passant par la maîtrise d'outils, de techniques ou de méthodes nécessaires pour occuper un métier (Mkaouar Hachicha 2012). Ils sont acquis avec de l'expérience ou suite à une formation, et sont décomposables en savoir-faire procéduraux « renseignent sur la capacité d'appliquer une méthode ou une procédure» et savoir-faire expérimentaux «renseignent sur les capacités personnelles à analyser une situation, à extraire les informations utiles pour une meilleure organisation de travail. Ce sont des leçons de l'expérience pratique qui restent difficiles à formuler ».
- ❖ **Savoir-être** : Ce sont des caractéristiques qui dépendent de l'individu. Chacun se comporte différemment devant une même situation. ils décomposent ce terme en trois sous-catégories, Le savoir-faire relationnel « représente les capacités nécessaires pour bien se comporter dans un contexte donné, afin de mener une meilleure coopération ». Le savoir-faire cognitif « c'est la capacité de réagir, de prendre l'initiative de proposer des décisions lors de l'apparition d'évènements imprévus ». Comportement « Il est décrit comme l'ensemble des actions et réactions (attitude, rigueur, maîtrise de soi...) d'un individu dans une situation donnée ».

- ❖ **Capacité** : Une capacité représente la possibilité de réussite dans l'exécution d'une tâche ou l'exercice d'une profession. Elle peut être l'objet d'une évaluation directe, sous réserve d'une volonté de mise en œuvre de la part de celui dont on veut apprécier la capacité.

Ces définitions ont donné lieu à de nombreux travaux et des approches très diverses ont été mises en œuvre pour la gestion de compétences. Nous présentons une classification inspirée des travaux (Held 1995) :

- les approches basées sur les savoirs : elles considèrent que les connaissances sont déterminantes et que seules les personnes possédant ces connaissances peuvent exercer leur métier,
- les approches basées sur les savoir-faire : elles ne se limitent plus seulement à la considération exclusive des connaissances, mais intègrent également les pratiques et les « tour de mains »,
- les approches basées sur les comportements : elles identifient certains comportements susceptibles de conduire au succès professionnel. Elles sont constituées d'un ensemble d'outils d'évaluation des personnes et des postes qui vont servir au recrutement, à la sélection et au développement (Fourgous & Lambert 1991).
- les approches intégrant les savoirs, les savoir-faire et les comportements : elles visent à intégrer les savoirs, les savoir-faire et les comportements à l'aide d'outils complets mais parfois d'emploi difficile, souvent mis en œuvre sur de longues durées (au moins deux ans),
- les approches basées sur les compétences cognitives : Michel et Ledru ((Michel & Ledru 1991) ont défini les compétences comme « l'aptitude à résoudre des problèmes de manière efficace dans un contexte donné » et ont développé le concept de compétences cognitives. Il s'agit d'identifier la manière dont un individu aborde un problème et structure l'information. Ces approches conduisent à l'évaluation des compétences des acteurs par rapport aux compétences des métiers et permettent ainsi d'aboutir à des cartographies de métiers sur lesquelles il est possible d'identifier les proximités entre métiers et d'établir des passerelles professionnelles,
- les approches basées sur les activités et liant activités et compétences : elles consistent à identifier les activités dans lesquelles il existe des acteurs possédant les compétences nécessaires et celles où il y a des déficits. Un dictionnaire complet d'activités décrit le travail et sert de base pour l'évaluation

des personnes. Il est alors possible de croiser les activités avec les savoirs, savoir-faire et comportements nécessaires à leur bonne réalisation. Ici, les compétences sont considérées comme la capacité à réaliser des activités, en utilisant les savoirs, savoir-faire et comportements indispensables.

4.2. Problématique de la sélection des acteurs dans le domaine industriel

Dans l'état de l'art, chapitre 1, nous avons étudié le problème d'affectation dans le domaine industriel. Afin, de mieux raffiner la configuration des solutions d'affectation des ressources humaines, nous allons étudier le problème au sein d'autres domaines tel que la santé, la gestion de projet et la logistique.

Dans le domaine de la santé, différentes approches sont généralement appliquées pour faire face au problème d'affectation Infirmière-Patient (I-P), ou il y a des critères qui ne sont pas habituellement abordés, tels que la continuité des soins (Haggerty et al. 2003) ou le risque d'épuisement professionnel (Borsani et al. 2006), ce qui rend la gestion d'affectation de I-P particulière. Jebali (Jebali et al. 2003) propose une heuristique pour la réalisation d'un programme opératoire, cette méthode permet de calculer le nombre de lits nécessaires pour un programme opératoire centré sur la salle d'opération. Dans une autre étude le problème a été abordé avec la programmation stochastique d'une part (Lanzarone et al. 2012), et avec les politiques d'analyse sur l'autre part (Lanzarone & Matta 2012). Récemment, Carello et Lanzarone (2014) ont développé un modèle d'affectation robuste cardinalité-contrainte, ce qui permet d'exploiter les potentialités d'un modèle de programmation mathématique sans la nécessité de scénarios de production, afin d'évaluer sa capacité de réduire les coûts liés aux heures supplémentaires des infirmières (Carello & Lanzarone 2014). Dans (Hawe et al. 2015) la simulation à base d'agents est utilisé pour déterminer l'allocation des ressources pour un incident à deux sites qui minimise les derniers temps d'arrivée de l'hôpital pour les victimes gravement blessées. Systèmes de classification des patients (PCSs) fournissent la dotation et infirmière-patients des recommandations d'affectation pour un recensement patient donné en fonction de ces scores d'acuité, (Sir et al. 2015) ont prouvé que ces systèmes ne permettent pas de saisir avec précision la charge de travail. L'approche offre des modèles d'optimisation (analytics prescriptives), qui utilisent des indicateurs de l'acuité des patients à partir d'un PCS commerciaux ainsi que le score infirmière charge de travail basée sur un sondage. Les modèles attribuent patients aux infirmières de manière équilibrée par la distribution des scores d'acuité des PCS et la charge de travail perçue à partir d'enquêtes). Les résultats numériques suggèrent que les modèles d'affectation proposés infirmière-patients à atteindre une répartition équilibrée et faible charge de travail globale.

Dans le domaine de la gestion de projet, dont la particularité est d'avoir des contraintes de précédence et leur aspect cumulatif, l'étude de Letouzey (Letouzey 2001) auprès de dix-neuf entreprises au sujet de l'affectation des opérateurs a montré que la différence entre les opérateurs est un facteur ayant un impact sur la performance opérationnelle, particulièrement sur la durée de traitement d'une tâche. L'importance du choix de la ressource humaine pour la satisfaction des objectifs de délai, de coût et de qualité étant bien établie, une diversité de travaux de recherche significatifs en génie industriel s'est intéressée principalement à la mise en exergue de ce lien. De son côté, (Bennour 2004) présente schématiquement la relation existante entre les compétences des ressources humaines selon ses dimensions individuelles (savoir, savoir-faire et savoir-être) et collectives (inter-métier et intra-métier) et la performance. A l'appui de cette relation, (Bennour & Crestani 2007) quantifient l'impact des compétences principales tant individuelles (technicité, décision, autonomie, innovation) que collectives (management, relationnel) pour l'estimation du taux de modulation de la performance nominale des différents métiers impliqués dans l'exécution d'une activité. Bellenguez-Morineau (Bellenguez-Morineau 2006) se sont intéressés à la gestion du projet avec prise en compte de compétences multiples (un problème noté MSPSP pour Multi-skill Project Scheduling Problem). Pour ce problème, ils cherchent à minimiser la date d'achèvement global du projet sachant que chaque ressource possède un certain nombre des compétences utilisées dans le problème. (Hlaoittinun 2009) a défini le degré de similarité en insistant sur la distinction entre l'écart positif et l'écart négatif entre les niveaux de compétences acquis et requis, il a supposé que les ressources de compétence ont la même importance pour la réalisation de la tâche. (Gonsalves & Itoh 2010) cherchent à attribuer toute tâche de développement de logiciels à la bonne personne qui assure sa réalisation dans un meilleur délai avec un coût minimum. Les auteurs supposent que la réalisation de chaque tâche nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de ressources de compétence et que sa durée varie selon le candidat choisi. (Mkaouar Hachicha et al. 2013) font la conception d'un outil de prise de décision pour résoudre un problème de sélection multi-critères qui peuvent accueillir les détails qualitatifs dans les relations avec les exigences de la tâche et les compétences des candidats. Dans un autre travail, Mkaouar propose une affectation qui permet d'assurer une meilleure correspondance entre les exigences des tâches et les compétences acquises par les ressources humaines tout en respectant au mieux leurs préférences (Mkaouar Hachicha 2012). l'étude de João Telhada (Telhada 2014) est basé sur le problème du personnel ordonnancement dans un environnement qualifié à plusieurs. Ce problème est traité d'une manière intégrée, modélisation horaires de travail et la répartition des tâches comme un problème. Il présente les formulations alternatives de MIP qui conduisent à la tâche d'ordonnancement et de décalage des affectations optimales. (Guillaume et al. 2014) suggère de modéliser l'incertitude sur

les compétences possédées par une personne utilisant une distribution de possibilité, et l'imprécision sur les compétences requises pour une tâche en utilisant une contrainte floue, en tenant compte des interactions possibles entre les compétences en utilisant une intégrale de Choquet.

Dans le domaine logistique, le problème concerne le processus de sélection de nouveaux fournisseurs pour l'inclusion dans la liste des fournisseurs. Généralement la sélection réalisée à travers (problème d'évaluation) classement ou de la qualification d'un ensemble de fournisseurs qualifiés. Une fois que les fournisseurs ont été évalués, dans les opérations tactiques d'un problème de répartition des ordres doit être abordé, consistant la détermination de la taille de l'ordre qui doit être attribué à chaque fournisseur, avec l'objectif d'optimiser une fonction d'utilité donnée. Dickson énuméré les critères les plus utilisés pour la sélection des fournisseurs (SS)(Dickson 1966). L'analyse a montré que le prix, la qualité, la livraison et l'historique des performances pourraient être considérés comme des critères les plus importants. (Ha & Krishnan 2008) élargi la liste à un ensemble de 30 attributs, très souvent contradictoires les uns avec les autres, ce qui nécessite des mesures quantitatives ou qualitatives (l'intrinsèque multicritère nature du problème). Il faut se concentrer non seulement sur ce qui doit être calculé, mais aussi sur la façon dont les critères multiples doivent être combinés. Par conséquent, un vaste corps de la littérature traitant des méthodes et des systèmes d'aide à la décision pour le problème sélection des fournisseurs a été développé. (Lima Junior et al. 2014) présente une analyse comparative des méthodes TOPSIS floue (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) and Fuzzy AHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) appliquées pour SS problème. La comparaison a été faite sur la base des facteurs: l'adéquation à l'évolution des alternatives ou des critères; l'agilité dans le processus de décision; complexité de calcul; adéquat pour soutenir le groupe prise de décision; le nombre de fournisseurs et d'autres critères; et la modélisation de l'incertitude récemment. (Bruno et al. 2016) propose un modèle intégré qui combine deux principales approches proposées dans la littérature, le processus hiérarchie analytique (Analytic Hierarchy Process AHP) et théorie des ensembles flous (Fuzzy Set Theory FST).

Étant donné que la durée du choix des intervenants dans une tâche de maintenance, peut avoir un impact négatif sur le service de maintenance, il faut faire en sorte que la sélection des ressources humaines devient la plus courte possible pour donner le temps de diagnostic, s'organiser pour rejoindre les lieux d'intervention et rassembler le matériel nécessaire au traitement des tâches. Ainsi, l'arrivée d'une nouvelle tâche ne doit pas conduire à une remise en cause complète de l'affectation en cours. Les modifications apportées devront être alors limitées le plus possible.

4.3. Formalisation du contexte et définition d'un mécanisme de sélection

Dans cette partie, nous présentons nos travaux relatifs à la spécification et au développement d'algorithmes de recherche d'expériences pertinentes par rapport à un contexte courant. Les traitements réalisés, sur la base du contexte de l'expérience, sont similaires, dans une certaine mesure, à ceux effectués dans le cadre du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC). C'est pourquoi nous commençons par présenter rapidement l'approche de RàPC. Nous nous attardons sur une composante essentielle du cycle du Raisonnement à Partir de Cas en relation avec notre problématique, l'étape de recherche par similarité. Nous présentons dans un deuxième temps les technologies sémantiques permettant la caractérisation des expériences en précisant quel type de représentation nous avons sélectionné. Enfin nous introduisons le modèle du contexte qui permettra l'identification des expériences similaires, puis les différents mécanismes d'inférences associés.

4.3.1. Approche de sélection des experts par le RàPC

Nos choix et nos démarches dépendent du type de système à étudier. Nous nous intéressons aux deux phases de remémoration et d'adaptation ainsi que le lien entre elles.

De ce fait, nous commençons par décrire les deux types de systèmes avant d'aborder la problématique concernant chacun d'eux. Nous partons d'une description générale d'un modèle de système de RàPC que nous déclinons suivant le type de système traité. En effet, nous nous inspirons du modèle initié par Lamontagne et Lapalme abordé au chapitre 1 (Lamontagne & Lapalme 2002).

Nous exploitons d'une part, les ressources du domaine, les containers de connaissance ainsi que la maintenance de la base de cas et d'autre part, le cycle du RàPC, comportant les phases de recherche et d'adaptation des cas retenus, auquel nous lui rajoutons la phase « d'élaboration du cas cible » (Figure 4-1).

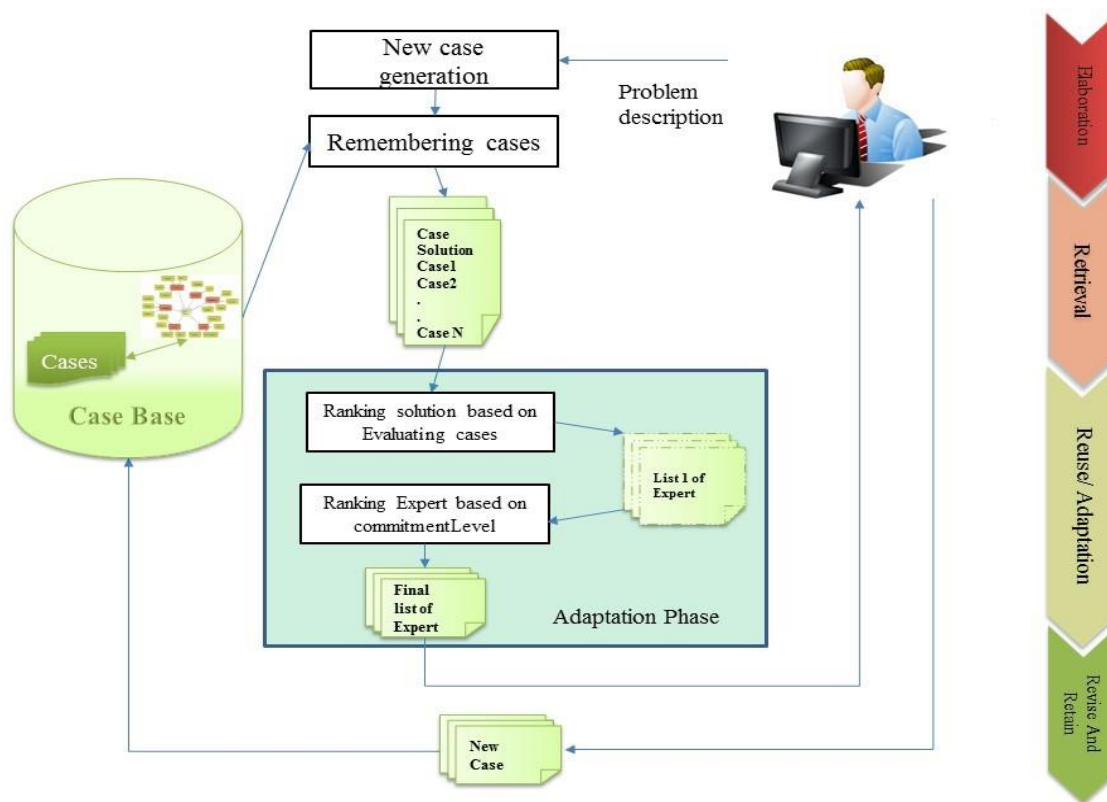


Figure 4-1 L'approche adoptée via une approche de RàPC

4.3.1.1. Représentation/ Elaboration du cas

A partir des connaissances reçus, nous avons développés la représentation de cas pour notre système de sélection. Un exemple de cas est présenté dans la (Table 4-1). Sa structure dans la base de cas a été choisie de façon à ce qu'elle montre facilement les différences informations sur les alarmes. La première partie représente la description du contexte d'un cas et contient :

- **Le contexte** constitué de premier symptôme et de localisation du problème (de l'alarme) dans le découpage spatial (zone, sous zone) (descripteurs ds1 et ds2, respectivement).
- **La liste des attributs** (descripteurs) correspondant au triggering part (associés à chaque zone ou sous zone dans le contexte) et les types d'alarmes et l'état d'équipement renseignent la source d'alarmes (descripteurs ds3, ds4, ds5 et ds6, respectivement). Cette partie permet d'évaluer la similarité du cas cible avec les cas sources.

La deuxième partie représente la solution de la situation diagnostiquée et contient :

- **Etre résolu par** qui correspond à l'identification de l'expert (s) responsable du diagnostic.
- **La solution** consiste à proposer une action de diagnostic associée au équipement.

Ce formalisme a été conçu et développé afin de prendre en compte toutes les relations possibles entre l'alarme, l'équipement et enfin les experts.

Tableau 4-1 Représentation d'un cas

Case	Context		Triggering Part				Solution	
	Localization		Alarm	Alarm Class	Emergency level	Equipment	Solved by	Diagnostic Action
	Zone	Sub Zone						
	ds ₁	ds ₂	ds ₃	ds ₄	ds ₅	ds ₆ ^{Value} ds ₆ ^{FM}	ds ₇	ds ₈

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les travaux de (Rasovska 2006) et (Haouchine 2009). Un cas source est représenté par un couple (srce, Sol(srce)) et le cas cible par le couple (target, Sol(target)), où Sol(target) est inconnue et on voudrait lui apporter un résultat.

- ds_i, dt_i (pour i = 1, ..., n) : représentent les descripteurs de la partie problème du cas source « srce » (respectivement problème cible « target ») ;
- Dsi, Dti (pour i = 1, ..., m) : représentent les descripteurs de la partie solution du cas source « Sol (srce) » (respectivement solution cible « Sol (target) »).

Dans la partie Triggering, Equipement soit décrit par un ensemble de descripteurs qui sont composés de deux différents attributs. Ces attributs sont relatifs à la valeur du composant, son mode de fonctionnement : ds₆ = (ds₆^{Value}, ds₆^{FM}).

Le gestionnaire (opérateur) détermine les six premiers descripteurs du cas cible; ils sont aussi des descripteurs du cas source nommé (dt₁, ..., dt₆), avec un formulaire à remplir (Work Request). A partir de là, il y aura un cas Target (cible) élaboré qui nous permettra d'aller chercher les cas sources les plus similaires à ce cas cible.

4.3.1.2. Etape de remémoration

Pour remémorer un cas similaire le plus favorable à l'adaptation, nous devons évaluer dans un premier temps la ressemblance entre les descripteurs et entre les attributs de chaque descripteur. En effet, pour la partie localisation, les descripteurs de problème du cas cible et des cas sources vont être comparés. Ensuite, concernant la partie Triggering, ça sera les attributs des descripteurs qui vont être comparés. Pour permettre de comparer les cas les uns avec les autres, il faut pouvoir comparer leurs valeurs d'attributs de façon à établir à quels points ces valeurs sont proches. Chaque attribut doit donc être typé. C'est la connaissance du type qui permet de connaître les opérations de comparaison licites et par là d'établir des similarités.

Dans la littérature, de nombreuses mesures de similarité, basées sur la structure taxinomique, ont été illustrées. Par exemple, la mesure proposée par Wu (Wu & Palmer

1994) et plus récemment celle de (Chebel-Morello et al. 2013; Jabrouni et al. 2013; Potes Ruiz et al. 2013; Akmal et al. 2014) peut être mentionnée. Dans la présente étude, nous avons utilisé la mesure de similarité proposée par (Haouchine et al. 2008) et basée sur les informations issues de l'ontologie FOMES.

- Mesure de Remémoration (MR)

La Mesure de Remémoration (MR) dépend de la formalisation du cas en tenant compte de la similarité entre trois attributs composant le descripteur, plus une fonction déterminant la présence de ce descripteur dans le cas source. Ces valeurs sont binaires, normées ou comprises dans l'intervalle [0, 1] pour positionner les valeurs comparées dans une hiérarchie.

Ainsi, nous définissons les mesures de similarité locales associées à chaque type de descripteurs comme suit :

- a. L'état du mode de fonctionnement dans le cas d'une panne défini par une mesure de similarité locale ds_i^{FM} :

$$\begin{aligned} sim(ds_i^{FM}, dt_i^{FM}) &= 1 \text{ if } ds_i^{FM} = dt_i^{FM} \\ &= 0 \text{ if } ds_i^{FM} \neq dt_i^{FM} \end{aligned}$$

- b. Les descripteurs n'étant pas renseignés obligatoirement dans chaque cas, nous leur affecterons un attribut relatif à leur présence dans le cas ; à savoir $ds_i^{Présence}$:

$$\begin{aligned} sim_{presence}(ds_i^{value}, dt_i^{value}) &= 1 \text{ if information is present both in } S_1 \text{ and } T \\ &= 0 \text{ if information is not present in one descriptor} \end{aligned}$$

- c. La valeur du descripteur ds_i^{value} peut prendre différentes valeurs :

$$\begin{aligned} sim(ds_i^{value}, dt_i^{value}) &= 1 \text{ when } ds_i^{value} = dt_i^{value} \\ &= 0,8 \text{ when } level(ds_i^{value}) = level(dt_i^{value}) \text{ (si } ds_i \text{ et } dt_i \in \text{m\^eme classe d'alarme)} \\ &= 0,4 \text{ when } level(ds_i^{value}) \neq level(dt_i^{value}) \text{ (si } ds_i \text{ et } dt_i \notin \text{m\^eme classe d'alarme)} \end{aligned}$$

Par conséquent, nous définissons une mesure de similarité globale (R_M) qui est l'agrégation de ces différentes mesures et se traduit par la formule suivante :

$$R_M(S_1, T) = \frac{\sum_{i=1}^p sim(ds_i^{value}, dt_i^{value}) + \sum_{i=p+1}^m sim(ds_i^{value}, dt_i^{value}) + \sum_{i=m+1}^j [sim(ds_i^{value}, dt_i^{value}) \times sim(ds_i^{FM}, dt_i^{FM}) \times sim_{presence}(ds_i^{value}, dt_i^{value})]}{\sum_{i=1}^j sim_{presence}(ds_i^{value}, dt_i^{value})} \quad (1)$$

Telque:

S1: Premier cas source; T: Target (cas cible).

p: représente le nombre des descripteurs de localisation,
m: est le nombre de descripteurs du première partie de déclenchement (Triggering) (ds₃, ds₄, ds₅), j: le nombre de descripteurs de la deuxième partie de déclenchement (ds₆).

- Mesure Adaptation (AM)

Afin de sélectionner le cas source le plus adaptable, parmi les cas récupérés, il a été nécessaire de développer la « mesure d'adaptation ». Nous proposons de donner une priorité au descripteur « ds₄ » en imposant un poids élevé. Sachant que c'est un cas urgent, nous avons besoin d'une sélection rapide d'une décision dans l'espace solution. En effet, un poids élevé est attribué au niveau supérieur d'urgence (α). La présence de la valeur du descripteur peut également être prise en compte car cela facilite l'adaptation.

$$A_M(S_1, T) = \frac{\sum_{i=p+1}^{j=m-1} sim(ds_i^{value}, dt_i^{value}) + sim(ds_m^{value}, dt_m^{value}) \times \alpha_m}{sim_{presence}(ds_i^{value}, dt_i^{value})}$$

Telque:

p: représente le nombre des descripteurs de localisation,
m: Le nombre de descripteurs du première partie de déclenchement (Triggering)
 α_m : Le poids associé en fonction du niveau d'urgence.

$$\text{If } \begin{cases} ds_m^{value} = dt_m^{value} = High \rightarrow \alpha_m = 2^2 \\ ds_m^{value} \neq dt_m^{value} = (High / Low \text{ or } Low / High) \rightarrow \alpha_m = 2^1 \\ ds_m^{value} = dt_m^{value} = Low \rightarrow \alpha_m = 2^0 \end{cases}$$

Il convient de noter que la mesure d'adaptation (AM) est calculée uniquement en fonction des descripteurs de la première partie de Triggering, car le niveau d'urgence est exprimé dans cette partie. Par conséquent, le cas source avec la plus grande valeur de la mesure d'adaptation, parmi les cas sources récupérés, sera le candidat sélectionné pour la prochaine étape.

4.3.1.3. Adaptation

La seconde étape du cycle RàPC est la réutilisation ou bien adaptation, ce qui conduit à proposer une solution à un nouveau problème à partir des solutions dans les cas récupérées. Dans la plupart des situations, les auteurs vont tout simplement utiliser la substitution ou la transformation (Cheng & Ma 2015). Dans certains contextes particuliers, il y a des approches proposées dans la littérature, fondées sur les relations de dépendance existant entre l'espace contexte et l'espace solution d'une expérience donnée. Haouchine (2009) propose un algorithme d'adaptation qui s'appuie premièrement sur les relations de dépendance dans le modèle de cause à effet entre les

différentes défaillances pouvant apparaître dans l'équipement industriel et deuxièmement sur le type de relation entre l'espace problème et l'espace solution pour un cas donné (Haouchine 2009).

Il est rarement possible d'utiliser une solution exactement comme elle est enregistrée. Cela se produit si la nouvelle situation du problème n'est pas trop différente dans les aspects essentiels du plus proche voisin sélectionné à partir de la base de cas. Ensuite, la recommandation est d'adapter la solution enregistrée avant de la réutiliser pour mieux s'adapter au nouveau problème. Dans certains contextes particuliers, certaines approches sont proposées dans la littérature; elles sont basées sur les relations de dépendance (ou valeur corrélative) entre l'espace problème et l'espace solution d'une expérience donnée (Qi et al. 2015). L'adaptation peut être effectuée à différents niveaux de granularité. Dans le présent travail, la partie solution décrit l'expert et l'action diagnostique. La question est donc de savoir comment nous pouvons assigner un expert pour résoudre un nouveau problème. Une autre question est de savoir qui peut être choisi pour résoudre le nouveau problème? Dans ce contexte, il n'y a pas de problème s'il n'y a qu'une seule solution récupérée. Dans le présent travail, on suppose qu'il y a plusieurs cas récupérés. Ainsi, pour générer une nouvelle solution, basée sur une solution précédente, une approche spécifique doit être suivie. A partir de l'ensemble des cas récupérés, l'adaptation proposée est basé sur deux niveaux de sélection décrite dans les deux étapes suivantes :

- I. Ranking par rapport à L'évaluation du cas : consiste à sélectionner les cas suivant le critère d'évaluation. Evaluation est un concept dans l'ontologie FOMES qui définit l'évaluation d'un cas de diagnostic suivant trois critères : le temps, coût et un indicateur qui détermine si le problème est résolu; chaque critère est représenté par un DataType : *time*, *coast* et *state* respectivement. Ce dernier critère va nous permettre d'avoir une nouvelle liste des cas (tous les cas qui ont été résolu avec un bon diagnostic). Afin d'aboutir à cet objectif, nous nous basons sur un langage descriptif qui sert à faire des classements d'après des requêtes. Ces requêtes sont exprimées dans le langage SPARQL ("Protocol And RDF Query Language).
- II. Ranking par rapport à Commitment_Level : Dans cette étape de sélection, nous nous basons sur trois facteurs ; deux paramètres du concept Evaluation, coût et temps, et le facteur taux de participation. Tout dépend du type de problème. Il y a un problème où il faut minimiser le temps de diagnostic, ce qui nous amène à donner un poids important à ce paramètre. Mais, dans la réalité, le paramètre coût joue aussi un rôle important. Dans cette tendance, nous prenons l'hypothèse d'avoir un équilibre entre le coût et le temps. Enfin, le facteur taux de participation d'un expert (i) est le rapport entre le nombre des cas où il a participé sur les cas récupérés de l'étape retrieval (Eq 1).

En fonction de ces trois facteurs cités, nous avons introduit un attribut relatif à la compétence dynamique *Commitment_Level* (donné par l'équation 2) qui est un nouveau *DataType* de la classe *Expert*. La valeur de cet attribut est basée sur le temps (t), le coût (c) et le taux de participation (Taux) pour chaque expert et calculer en utilisant les deux fonctions $F1(t, c)$ à minimiser et $F2(\text{Taux})$ à maximiser. Par conséquent, l'objectif est de minimiser la fonction globale $F=F1+ (\text{Max } F2 - F2)$. Sa forme la plus simple est : $F= t+c+ (\text{Max } \text{Taux} -\text{Taux})$.

$$PRate_{Exp_i} = \frac{\sum \text{cases of participation}_{(Exp_i)}}{\sum \text{cases}} \quad (3)$$

$$ComL_{Exp_i} = (\text{Max} - PRate_{Exp_i}) + \left(\frac{\sum_{j=1}^N TP_j^{Exp_i}}{N}\right) / \text{MaxTP} + \left(\frac{\sum_{j=1}^N Co_j^{Exp_i}}{N}\right) / \text{MaxCo} \quad (4)$$

$PRate_{Exp_i}$: Taux de participation d'un expert;

Max : Valeur max des taux de participation, égale à 1;

MaxTP : Valeur max des temps des cas;

MaxCo : Valeur max des coûts des cas;

TPExpi : Temps moyen de diagnostic;

Co_{Exp_i} : Coût moyen de diagnostic ;

N : Nombre de participation d'Expert i ;

La figure 4-2 présente, sous la forme d'un algorithme, le principe du calcul proposé

```

P,k,N,m,i,j: integer
Start
  List ← "cases with success "
  p ← number of cases
  New List: "gathered cases by expert"
  k ← number of experts
  for j going from 1 to k
    starts_for
      N ← number of cases of Exp [j]
      PRate: N/p
      For m going from 1 to N
        Start_for
          Tpt ← Tpt+Tp[m]
          Cot ← Cot+Co[m]
        end_for
      Tp[j] ← (Tpt/N)/maxTp
      Co[j] ← (Co/N)/maxCo
      ComL[j] ← (1- PRate)+ Tp[j]+ Co[j]
    end_for
  End.

```

Figure 4-2 Algorithme pour calculer *Commitment_Level* proposé

Une application numérique sera détaillée dans le chapitre suivant.

4.4. Synthèse

Les travaux de recherches présentés dans ce travail ont porté sur plusieurs critères de sélection des acteurs. A notre avis, les critères pris en compte ne sont pas toujours suffisants pour satisfaire les exigences de résolution d'un problème de maintenance dans le temps, le cout et l'efficacité. Nous avons expliqué la nécessité d'avoir d'autres critères pour améliorer le processus de sélection des experts.

Nous avons proposé d'intégrer de nouveaux critères à savoir la compétence dynamique via l'expérience. Une méthodologie de démarches de retour d'expérience autour du Raisonnement à Partir de Cas. Cette approche est privilégiée, car elle permet de raisonner sur un nombre restreint de cas qui représente les expériences passées. Nous avons détaillé les différentes phases du cycle permettant la manipulation du mécanisme de connaissances. Ceci nous a permis de constater que ces phases dépendent les unes des autres et spécialement les deux phases de remémoration et d'adaptation. Dans la phase de remémoration, nous exploitons les similarités locales et globales, qui sera en fonction des spécificités du diagnostic proposé dans (Haouchine 2009). Nous mettons un soin particulier à développer la phase d'adaptation des cas. Afin d'affiner la sélection des experts pour chaque tâche de diagnostic, un ranking à deux étapes basé sur le langage de requêtes SPARQL a été mis au point dans la troisième étape du cycle du RàPC.

Un cas d'étude est présenté au cinquième chapitre.

Références Bibliographiques

- ACCP, 2005. *Certification des Compétences*, Available at: <http://formation->
- AFNOR, 2002. Outils de management - Ressources humaines dans un système de management de la qualité - Management des compétences.
- Akmal, S., Shih, L.H. & Batres, R., 2014. Ontology-based similarity for product information retrieval. *Computers in Industry*, 65(1), pp.91–107.
- Bellenguez-Morineau, O., 2006. *Méthodes de résolution pour problème de gestion de projet multi-compétence*. Tours.
- Bennour, M., 2004. *Contribution à la modélisation et à l'affectation des ressources humaines dans les processus*. Université de Montpellier II.
- Bennour, M. & Crestani, D., 2007. Using competencies in performance estimation : From the activity to the process. *Computers in Industry*, 58(2), pp.151–163.
- Bonjour, E., Dulmet, M. & Lhote, F., 2002. An internal modeling of competency, based on asystemic approach, with socio-technical systems management in view. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. Hammamet, Tunisie.
- Borsani, V. et al., 2006. A home care scheduling model for human resources. In *Proceedings of ICSSSM*. Troyes, France, pp. 449–454.

- Boucher, X. & Burlat, P., 2003. Vers l'intégration des compétences dans le pilotage des performances de l'entreprise. *Journal Européen des Systèmes Automatisés-JESA*, 37(3), pp.363–390.
- Boyé, M. & Ropert, G., 1994. *Gérer les compétences dans les services publics*, Paris.
- Bruno, G. et al., 2016. Applying supplier selection methodologies in a multi-stakeholder environment: A case study and a critical assessment. *Expert Systems with Applications*, 43, pp.271–285.
- Carello, G. & Lanzarone, E., 2014. A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in Home Care services. *European Journal of Operational Research*, 236(2), pp.748–762.
- Chebel-Morello, B., Haouchine, M.K. & Zerhouni, N., 2013. Reutilization of diagnostic cases by adaptation of knowledge models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(10), pp.2559–2573.
- Cheng, J.C.P. & Ma, L.J., 2015. A non-linear case-based reasoning approach for retrieval of similar cases and selection of target credits in LEED projects. *Building and Environment*, 93(P2), pp.349–361.
- Dickson, G.W., 1966. An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), pp.5–17.
- Fourgous, J.M. & Lambert, H.P., 1991. *Evaluer les hommes*, Editions des Liaisons, Paris,.
- Gonsalves, T. & Itoh, K., 2010. Multi-Objective Optimization for Software Development Projects. In *International MultiConference of Engineers and Computers Scientists*. Hong Kong.
- Guillaume, R., Houé, R. & Grabot, B., 2014. Robust competence assessment for job assignment. *European Journal of Operational Research*, 238(2), pp.630–644.
- Ha, H.S. & Krishnan, R., 2008. A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert Systems with Applications*, 34(2), pp.1303–1311.
- Haggerty, J. et al., 2003. Continuity of care: A multidisciplinary review. *British Medical Journal*, 327.
- Haouchine, M., Chebel-Morello, B. & Zerhouni, N., 2008. Adaptation-Guided Retrieval for a Diagnostic and Repair Help System Dedicated to a Pallets "ECCBR." In *9th European Conference on Case-Based Reasoning*.
- Haouchine, M.K., 2009. *Remémoration guidée par l'adaptation et maintenance des systèmes de diagnostic industriel par l'approche du raisonnement à partir de cas*. L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté.
- Harzallah, M. & Vernadat, F., 2002. "IT-based competency modeling and management: from theory to practice in enterprise engineering and operations. *Computers in Industry*, 45, pp.157–179.
- Hawe, G.I. et al., 2015. Agent-based simulation of emergency response to plan the allocation of resources for a hypothetical two-site major incident. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, pp.336–345.
- Held, D., 1995. La gestion des compétences. *Revue Economique*, pp.1–10.
- Hlaoittinun, O., 2009. *Contribution à la construction d'équipes de conception couplant la structuration du projet et le pilotage des compétences*. Franche-Comté, France.
- Jabrouni, H. et al., 2013. Analysis reuse exploiting taxonomical information and belief assignment in industrial problem solving. *Computers in Industry*, 64(8), pp.1035–1044.
- Jebali, A., Ladet, P. & Alouane, A.H., 2003. Une approche heuristique pour la construction du programme opératoire. In *Congrès International de Génie Industriel (GI)*.
- Lamontagne, L. & Lapalme, G., 2002. Raisonnement à base de cas textuels – état de l'art et perspectives. *Intelligence Artificielle*, 16(3), pp.339–366.

- Lanzarone, E. & Matta, A., 2012. A cost assignment policy for home care patients. *Flexible Service and Manufacturing Journal*, 24(4), pp.465–495.
- Lanzarone, E., Matta, A. & Sahin, E., 2012. Operations management applied to home care services: The problem of assigning human resources to patients. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 42(6), pp.1346–1363.
- Letouzey, A., 2001. *Ordonnancement interactif basé sur des indicateurs : Application à la gestion de commandes incertaines et à l'affectation des opérateurs*. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Lima Junior, F.R., Osiro, L. & Carpinetti, L.C.R., 2014. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing Journal*, 21, pp.194–209.
- Michel, S. & Ledru, M., 1991. *Capital Compétence dans l'Entreprise*, ESF, Paris.
- Mkaouar Hachicha, R. et al., 2013. A new approach for an efficient human resource appraisal and selection Abstract : Purpose : The aim of the paper is to provide a decision making tool for solving a multi-. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(2), pp.323–343.
- Mkaouar Hachicha, R., 2012. *Contribution à la Modélisation et Résolution du Problème d ' Affectation sous Contraintes de Compétences et Préférences*. UNIVERSITE PARIS 8.
- De Montmollin, M., 1986. *L'intelligence de la tâche, éléments d'ergonomie cognitive*, Peter Lang, Berne.
- Pieron, H., 2005. *Lexique de la formation continue*, Available at: <http://www.hommes-et-savoirs.fr>.
- Potes Ruiz, P.A., Kamsu-Foguem, B. & Noyes, D., 2013. Knowledge reuse integrating the collaboration from experts in industrial maintenance management. *Knowledge-Based Systems*, 50, pp.171–186.
- Qi, J., Hu, J. & Peng, Y., 2015. Hybrid weighted mean for CBR adaptation in mechanical design by exploring effective, correlative and adaptative values. *Computers in Industry*.
- Rasovska, I., 2006. *Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance*. UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE.
- Sir, M.Y. et al., 2015. Nurse-patient assignment models considering patient acuity metrics and nurses' perceived workload. *Journal of Biomedical Informatics*, 55, pp.237–248.
- Telhada, J., 2014. Alternative MIP formulations for an integrated shift scheduling and task assignment problem. *Discrete Applied Mathematics*, 164(PART 1), pp.328–343.
- Vergnaud, G., 1998. Au fond de l'action, la conceptualisation. In: *J. MBarbier, Savoirs théoriques et savoirs d'action, Education et formation*, pp.275 – 292.
- Wu, Z. & Palmer, M., 1994. Semantic sand lexical selection. In *32nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico*. pp. 133–138.

Chapitre ν

Chapitre 5

Expérimentations & Implémentation

D

ans les deux chapitres précédents, nous avons présenté l'approche de notre

travail pour la sélection des experts. Ce chapitre est plus sur l'implémentation de notre proposition. Des aspects pratiques seront discutés. Nous présentons d'abord le contexte industriel, réseau électrique, comme un cas d'étude. La deuxième section est à propos de classification des alarmes à base de métaheuristiques. La mise en place d'un système d'apprentissage pour gérer la corrélation des alarmes sera faite. Dans la troisième section, nous présentons comment réaliser un système de sélection basé sur la base des connaissances. Nous terminons le chapitre par une discussion sur les résultats obtenus.

Chapitre 5	109
5.1. <i>Présentation du Réseau Electrique</i>	110
5.1.1. L'entreprise GRTE	110
5.1.2. Architecture et exploitation des réseaux	111
5.1.3. Problématique industrielle	112
5.2. <i>Approche de sélection des experts par le RèPC</i>	113
5.2.1. Collecte les données	113
5.2.2. Conception.....	114
5.3. <i>Classification des alarmes</i>	115
5.3.1. Système d'apprentissage (classification de l'alarme)	115
5.4. <i>Sélection des Experts</i>	119
5.4.1. Représentation/ Elaboration du cas.....	119
5.4.2. Etape de remémoration	119
5.4.3. Adaptation	121
5.4.4. Révision et Capitalisation (revise and retain)	125
5.5. <i>Discussion</i>	125
5.6. <i>Synthèse</i>	127
<i>Références Bibliographiques</i>	127

5.1. Présentation du Réseau Electrique

Comme le réseau routier, le réseau électrique, grâce aux lignes électriques qui le constituent, permet de cheminer l'électricité depuis les lieux de production (L'énergie hydraulique de l'eau des barrages et des lacs, l'énergie thermique, l'énergie nucléaire et l'énergie solaire) jusqu'au consommateur final. Il est constitué de grands axes (le réseau de transport de l'électricité) mais aussi d'axes secondaires (réseau de distribution) dont la capacité varie en termes de puissance. Pour résoudre plus facilement les besoins en énergie électrique instantanée, il est nécessaire d'utiliser conjointement une ou plusieurs sources de production, d'origine énergétique parfois différente, sur des réseaux de distribution communs.

Pour améliorer la fiabilité de la fourniture de l'énergie électrique, les réseaux relient entre elles toutes les unités de production et visent à assurer une fonction de secours en cas de pannes et/ou de défaillances.

5.1.1. L'entreprise GRTE

Le Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité, dénommée GRTE. Spa, filiale du Groupe SONELGAZ, a été créée le 1er janvier 2004, conformément à loi n° 02-01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz et enregistrée sous l'appellation « SONELGAZ Transport de l'Electricité, GRTE Spa ».

GRTE assure ses activités à travers des directions centrales et cinq directions de Régions Transport de l'Electricité : Alger, Oran, Sétif, Annaba, Hassi Messaoud. Ces régions, à travers 24 services de transport répartis sur le territoire national assurent une maintenance de proximité et la relation directe avec les clients.

Il est constitué d'un réseau interconnecté au nord du pays, avec des interconnexions internationales (Tunisie et Maroc) et d'un réseau isolé au sud.

Les utilisateurs du réseau sont les centrales électriques, les sociétés de distributions de l'électricité et clients HT ainsi que pour les échanges internationaux à travers les interconnexions. GRTE exploite un réseau composé de :

- 25 147 km de lignes dont 2 547 km en 400 kV
- 283 postes (dont 12 en 400 KV) dotés d'une capacité de transformation de 48 806 MVA à travers 773 transformateurs et cabines mobiles
- Un réseau de fibre optique de 16 095,7 km. GRTE assure le transit pour les quatre Sociétés de distribution d'électricité (y compris les clients industriels qui sont clients de ces sociétés de distribution).

5.1.2. Architecture et exploitation des réseaux

La structure d'un système électrique est généralement décomposée en plusieurs niveaux correspondant à différents réseaux électriques (figure 5-1), ce dernier est structuré en trois niveaux assurant des fonctions spécifiques et caractérisés par des tensions adaptées à ces fonctions (basse tension BT, moyenne tension MT, haute tension HT, très haut tension THT) (CHERIF & CHERIF 2014).

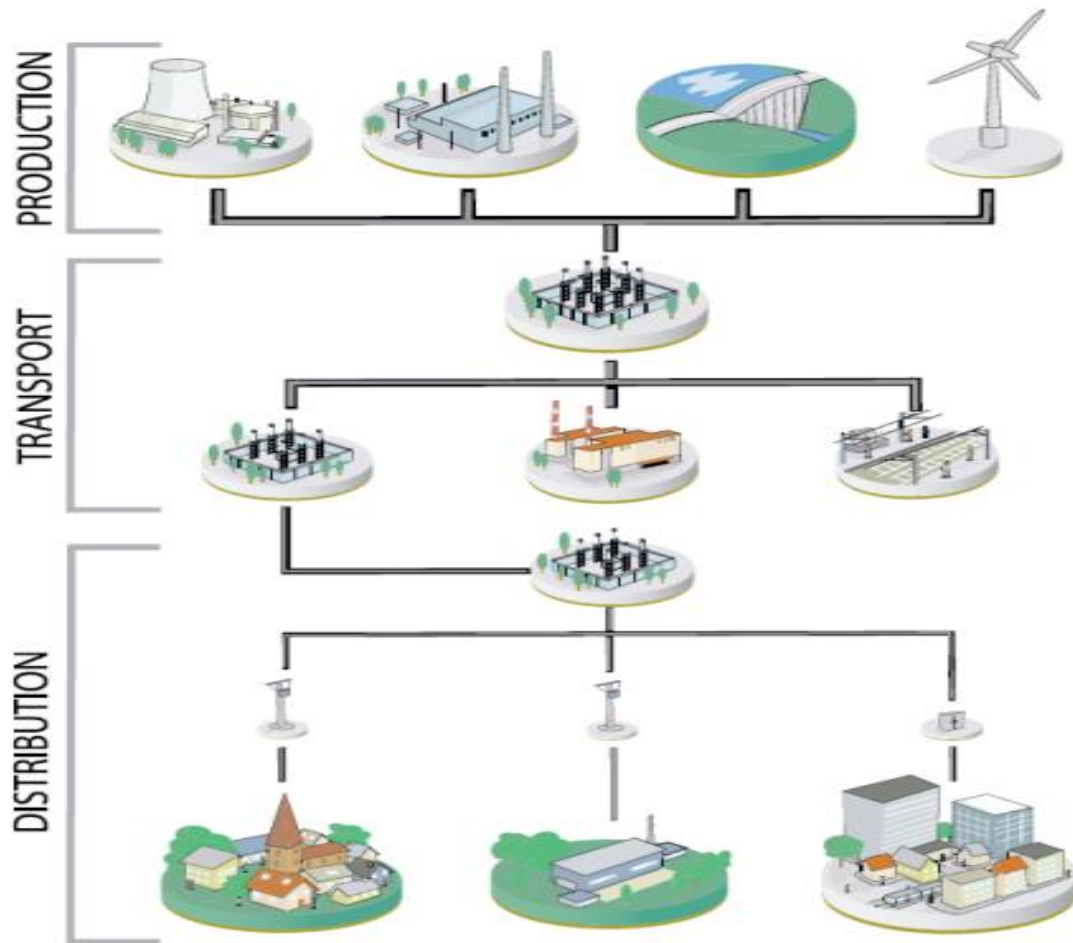


Figure 5-1: Hiérarchisation d'un réseau électrique (CHERIF & CHERIF 2014)

- Réseaux de répartition :
Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.
Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure

est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation (Vu 2011).

- Réseaux de distribution :

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique (Vu 2011).

- Réseaux de transport et d'interconnexion:

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission (Vu 2011; CHERIF & CHERIF 2014):

- De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport),
- De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),
- La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV,
- Neutre directement mis à la terre,
- Réseau maillé.

5.1.3. Problématique industrielle

Dans notre étude, nous avons choisi de travailler sur réseaux de transport et d'interconnexion. Le choix de cette entreprise repose sur les critères suivants :

- La situation géographique. Nous avons retenu une entreprise basée en Tlemcen, ce qui nous permettait d'être présent dans la société et de nous adapter facilement aux disponibilités des personnels.
- L'adéquation de la problématique industrielle à nos objectifs expérimentaux
- La taille de l'entreprise: en prend en compte la disponibilité des données informatisée ainsi la quantité.

Pour GRTE, il s'agit de mieux formaliser le retour d'expérience des experts métier sur les pannes et dépannages, en utilisant le raisonnement à partir de cas. Pour y contribuer, nous déterminons dans une base de cas de référence (cartes de la source de problème et l'expert responsable de leurs solutions), quelles sont les cartes les plus proches ou analogues au cas étudié ou à traiter. Le manager pourra ainsi étudier ces cartes (cas) similaires afin de délivrer un aide au diagnostic. Cette mémoire représentera un outil d'aide à la décision (gestion des experts) lors de la résolution de futurs problèmes de pannes ou dépannages à venir.

5.2. Approche de sélection des experts par le RàPC

5.2.1. Collecte les données

Le système est centré sur l'équipement à maintenir, par un premier niveau de surveillance lié à l'équipement (la supervision des données mesurées à l'aide de capteurs) et un deuxième niveau élaborant le diagnostic de pannes et leur réparation. Ces deux niveaux serviront ensuite de support à deux autres niveaux concernant la gestion des alarmes, et la gestion des ressources aussi bien humaines (l'expert) que techniques.

Pour illustrer cette nouvelle approche, nous commençons par identifier les ressources et les connaissances d'informations (WO, WR, ...). Ces ressources impliquent l'historique des alarmes, des documents de différents types, ainsi que l'expertise du domaine. Notre objectif est d'identifier différentes catégories d'alarmes et d'effectuer une étude statistique sur tous les problèmes de défaillance existants dans l'entreprise. À partir de ces ressources, nous avons essayé de trouver une relation entre l'alarme, l'équipement et le domaine. Cette étude statistique permet de recueillir les informations nécessaires pour enrichir l'ontologie FOMES. Par conséquent, les attributs d'un cas sont produits à partir de ces données. Une tentative a été faite pour réduire le nombre de descripteurs afin d'obtenir un tableau plus simple qui répond à nos exigences. Le format de visualisation dans Excel d'une partie des résultats des données collectées est présenté dans (Figure 5-2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Post	Travee No.	Information	Source of Alarme	Equipment	UdT				
2						URG	NUR C	REG ROU P	G1	
3	NAM	424	Manque = T1 (Principal)	BC1703 ACP	T1	X			G1	Alarme Class
4	TLM	406	Manque = T2 (Secours)	BC1703 ACP	T2	X			G1	G1 : Défaut Tranche
5	TLM	406	Manque = SO	BC1703 ACP	SOURCE SO	X			G1	G2 : Tranche Consignée
6	TLM	406	Tranche Consignée (I.C.T)	BC1703 ACP	ICT		X		G2	G3 : Défaut Travée
7	NAM	424	Signalisations Consignées (I.C.S)	BC1703 ACP	ICS		X		G2	G4 : Défaut Disjoncteur
8	TLE	137	Défaut commande disjoncteur	BC1703 ACP	DISJONCTEUR	X			G4	G5 : Anomalies Protection
9	TLE	137	Disj perte SF6 1er stade	BC1703 ACP	DISJONCTEUR	X			G4	G6 : Mesure en Depassement de Seul
10	SBA	102	Disj perte SF6 2ème stade	BC1703 ACP	DISJONCTEUR	X			G4	G7 : Ouverture Disjoncteur en Local
11	NAM	424	Manque force motrice disjoncteur	BC1703 ACP	DISJONCTEUR	X			G4	G8 : Fermeture Disjoncteur en Local
12	BBM	423	Disjoncteur ressort détendu	BC1703 ACP	DISJONCTEUR	X			G4	G9 : Défaut certain
13	BBM	423	Blocage enclenchement	BC1703 ACP	DISJONCTEUR	X			G4	G10 : Défaut moins certain
14	BBM	423	Anomalie position sectionneur B1	BC1703 ACP	SECTIONNEUR	X			G5	G11 : Alarme 1ransto
15	SBA	102	Défaut commande sect. barres 1	BC1703 ACP	SECTIONNER	X			G3	
16	TLE	137	Anomalie position sectionneur B2	BC1703 ACP	SECTIONNER	X			G3	
17	SAD	106	Défaut commande sect. barres 2	BC1703 ACP	SECTIONNER	X			G3	
18	SAD	106	Protection défaillance Disjoncteur en anomalie	7VK611	PROTECTION	X			G5	
19	SAD	106	Protection défaillance Disjoncteur manque C.C	BC1703 ACP	PROTECTION	X			G5	
20	BBM	423	Protection défaillance Disjoncteur H.S	7VK611	PROTECTION		X		G5	
21	ORN	402	Protection défaillance Disjoncteur Test	7VK611	PROTECTION		X		G5	
22	ORN	402	Absence tension barre 1	BC1703 ACP	JEUX DE BARRE	X			G3	
23	ORN	402	Absence tension barre 2	BC1703 ACP	JEUX DE BARRE	X			G3	
24	NAM	401	Relais de délestage Manque C.C.	BC1703 ACP	RELAIS	X			G5	
25	NAM	401	Alarme Buchholz TSA	BC1703 ACP	TSA	X			G11	
26	SBA	102	Manque = T2 (Secours)	BC1703 ACP	T2	X			G1	
27	NAM	401	Fusion Fus T1 (automate T1)	BC1703 ACP	FUSIBLE	X			G5	
28	BBM	423	DISJ. TT ARR. TR.MESURE OUVERT	C264	DISJONCTEUR BT	X			G3	
29	BBM	423	DISJ. TT ARR. TR.PROTECTION OUVERT	C264	DISJONCTEUR BT	X			G3	
30	BBM	423	DEFAUT EQUIP. PROT. DEFAILLANCE DISJ.	C264	DISJONCTEUR HT	X			G5	
31	BBM	423	Alarme température TSA	BC1703 ACP	TSA	X			G11	
32	NAM	401	Alarme température enroulement	BC1703 ACP	TR TSA	X			G11	
33	NAM	401	Manque = SO	BC1703 ACP	SOURCE SO	X			G1	
34	NAM	401	Manque = T1 (Principal)	BC1703 ACP	SOURCE T1	X			G1	

Figure 5-2 Vue globale sur les données collectées

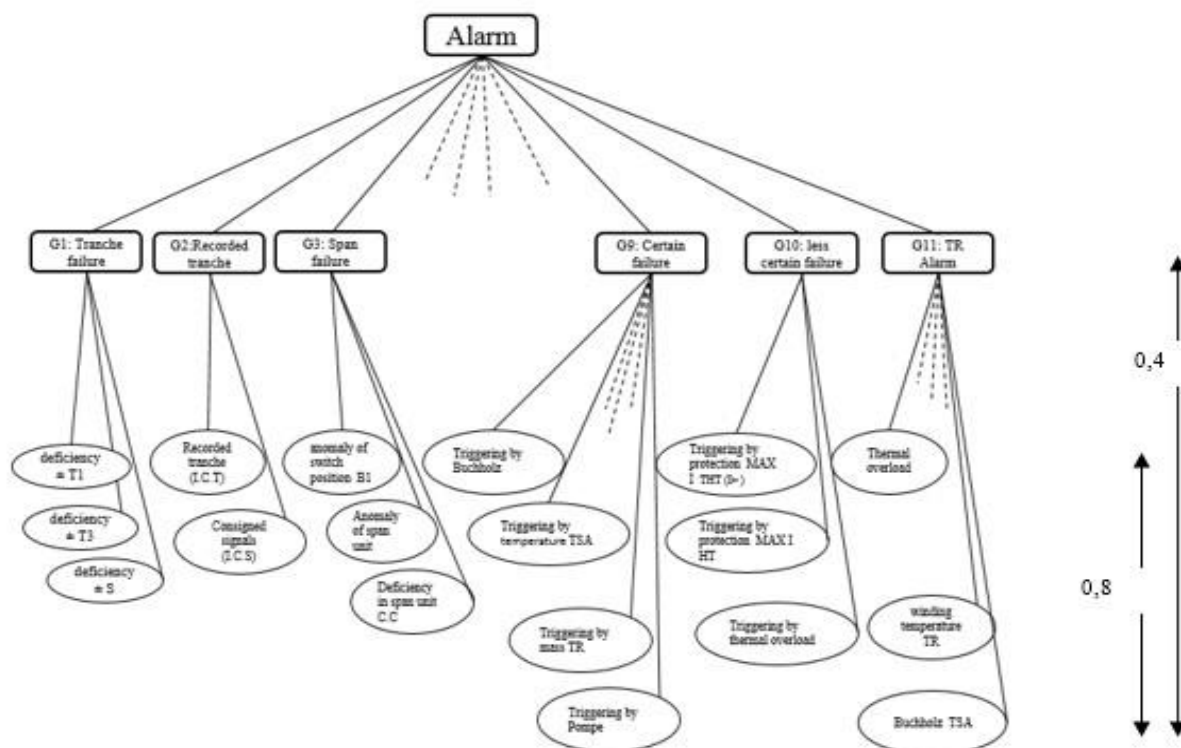


Figure 5-3 Une vue d'ensemble des classes d'alarmes prédéfinies dans l'entreprise

5.2.2. Conception

La démarche proposée pour la résolution du problème de sélection des experts est présentée avec le diagramme des activités illustré dans la figure suivante (Figure 5-4)

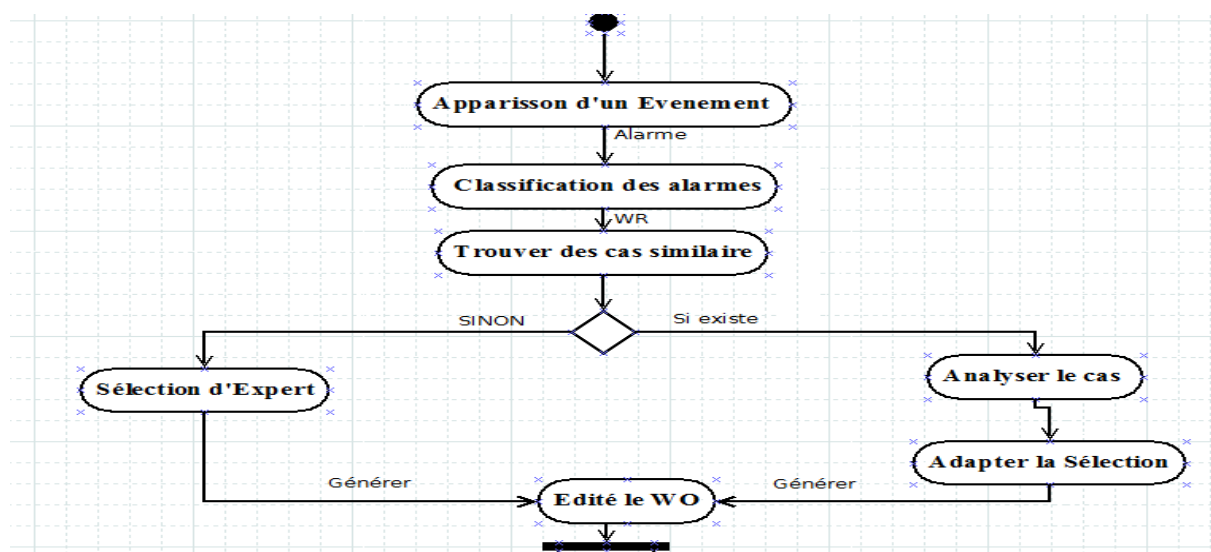


Figure 5-4 Le diagramme des activités

Comme est montré dans le diagramme des activités, notre système à deux phases principales. Dans la première phase, nous utilisons une analyse de flux de données pour mettre le traitement et classification des alarmes, et la deuxième concerne l'étape de sélection des experts.

5.3. Classification des alarmes

5.3.1. Système d'apprentissage (classification de l'alarme)

Les classes des alarmes sont présentées dans le tableau 1 dans lequel chaque classe est liée à un équipement.

Tableau 5-1 Classe Alarme

G1	T1 Source
G2	ICS
G3	BT Disjoncteur
G4	Disjoncteur
G5	Protection
G6	ICT
G7	CC Source
G8	Fuse
G9	Line
G10	TSA
G11	TR

Tableau 5-2 Résultats obtenus en utilisant différentes Métaheuristiques

<i>Experiments</i>	<i>Metaheuristic</i>	<i>Nbr of eval</i>	<i>MLP Architect</i>	<i>E_{learn}</i>	<i>f value</i>
# 1	AG	20	[8 13]	45,45	38,10
# 2		100	[10 20]	24,32	14,28
# 3		10	[7 5 10 11]	50,00	0,00
# 4		50	[6 20 15]	52,63	45,45
# 5	SA	100	[20 9]	36,36	7,14
# 6		500	[8 10]	50,00	19,05
# 7		100	[8 15 20]	55,56	35,71
# 8		1200	[30 7 14]	38,46	7,14
# 9	PSO	50	[6 30]	62,22	23,81
# 10		50	[20 7]	27,50	23,08
# 11		100	[10 15 16]	17,50	12,50
# 12		100	[30 6 10]	48,89	25

Tableau 5-2 présente les résultats de calcul obtenus pour chaque métaheuristique utilisée dans cette étude ainsi que la meilleure fonction fitness après un nombre prédéfini d'évaluations de la fonction objectif et différents paramètres pour la topologie MLP. Notez que la colonne d' E_{learn} présente l'erreur d'apprentissage obtenue par le réseau de neurones Perceptron Multi-Couche (MLP).

Selon ce tableau, il semble que le taux d'erreur (fonction fitness) obtenu par les trois métaheuristiques soit plus précis que le taux d'erreur d'apprentissage obtenu par les couches multiples standard Technologie Perceptron (MLP).

Ceci est dû au fait que nous avons ajusté plus le poids MLP en utilisant les métaheuristiques sélectives qui ont atteint la valeur optimale globale (ou proche) de la fonction fitness.

En outre, le tableau 5-2 montre que l'AG a obtenu les meilleurs résultats avec un petit nombre de générations. Cependant, SA était inférieure à la valeur de la fonction fitness de l'AG, mais a donné une solution avec un réglage d'architecture optimal. La métaheuristique PSO était légèrement pire que les autres métaheuristiques.

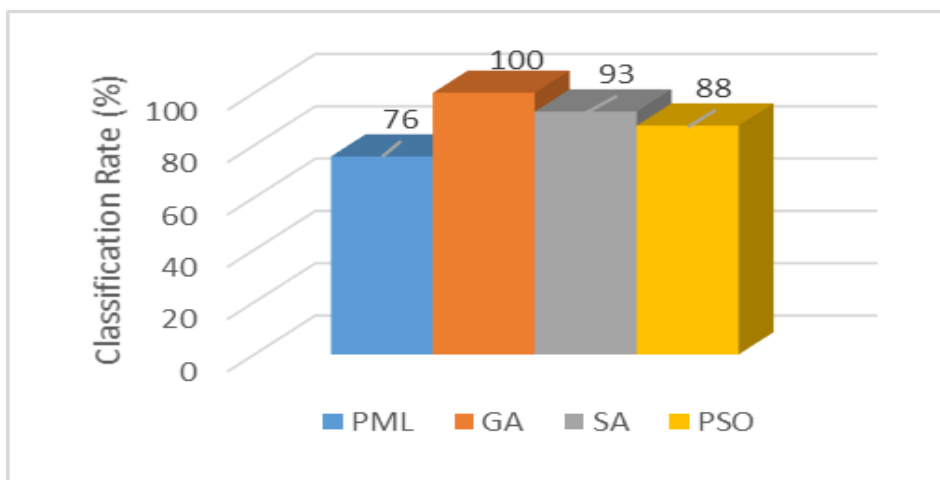


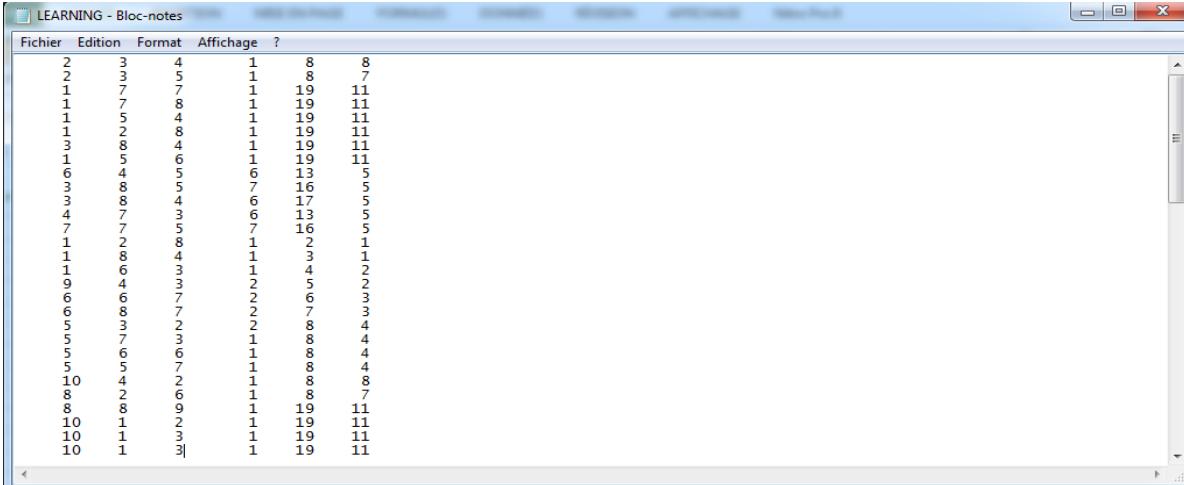
Figure 5-5 Taux de classification de différents algorithmes

D'après les résultats de la simulation, nous croyons que l'optimisation basée sur la métaheuristique fonctionne bien dans le contexte de la classification des alarmes.

Afin de capitaliser les connaissances et enrichir l'ontologie du domaine, l'objectif de cette activité est de stocker le résultat généré par l'étape d'apprentissage.

Un algorithme GA résultant est composé d'un ensemble de catégories d'alarmes à des contraintes impliquant des alarmes indépendantes. Le fichier résultat de l'étape d'apprentissage consiste en un ensemble de colonnes. Les cinq premiers présentent la caractéristique des alarmes modélisées (Input of Learning system) et la dernière

colonne affiche le résultat de la classification sur les différentes catégories d'alarmes, voir figure 5-6.



Fichier	Edition	Format	Affichage	?
2	3	4	1	8
2	3	5	1	8
1	7	7	1	19
1	7	8	1	19
1	5	4	1	19
1	2	8	1	19
3	8	4	1	19
1	5	6	1	19
6	4	5	6	13
3	8	5	7	16
3	8	4	6	17
4	7	3	6	13
7	7	5	7	16
1	2	8	1	2
1	8	4	1	3
1	6	3	1	4
9	4	3	2	5
6	6	7	2	6
6	8	7	2	7
5	3	2	2	8
5	7	3	1	8
5	6	6	1	8
5	5	7	1	8
10	4	2	1	8
8	2	6	1	8
8	8	9	1	19
10	1	2	1	19
10	1	3	1	19
10	1	3	1	19

Figure 5-6 Exemple d'un fichier résultant de l'apprentissage

Le système d'apprentissage convertit la désignation de chaque paramètre d'alarme en une valeur numérique pour effectuer la classification. Par exemple, la première ligne de la figure 5-6 permet d'interpréter que la combinaison des valeurs (2, 3, 4, 1, 8) dépend de « source d'alarme, équipement de source d'alarme, niveau d'urgence, date d'alarme, Equipement défaillant »; l'alarme fait partie de la classe d'alarme n ° 8 correspondant à la classe fusible.

Pour interpréter le résultat généré lors de la phase d'apprentissage, le système établit une correspondance entre les alarmes, grâce à une base de connaissances.

Les résultats sont ensuite stockés comme des instances de l'ontologie en utilisant l'API OWL. Cette API nous permet d'établir le lien entre la nouvelle instance d'alarme avec catégorie d'alarme dans la base de connaissances.

Enfin, tout en étant instanciée dans l'ontologie, la liste de classification des alarmes peut être listée (voir Figure 5-8) avec la requête SPARQL suivante (voir Figure 5-7).

```

Query
PREFIX ns: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1412765787.owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
SELECT ?Alarm ?id_AlarmCategory ?Description_AlarmCategory
WHERE
{
?Alarm    rdf:type ns:Alarm;

        ns:belongsTo ?Alarm_Category.
?Alarm_Category    ns:id_AlarmCategory ?id_AlarmCategory;

        ns:Description_AlarmCategory ?Description_AlarmCategory.
}
    
```

Figure 5-7 Requête SPARQL pour répertorier les classes d'alarmes

Results		
Alarm	id_AlarmCategory	Description_AlarmCategory
Alarm_SURCHARGE_THERMIQUE	G9	LIGNE
Alarm_Buchholz_TSA	G10	TSA
Alarm_Anomalie_MAX_I_MT	G5	PROTECTION
Alarm_Régulation_manque_CC	G11	TR
Alarm_Niveau_Haut_TR	G11	TR
Alarm_Défaut_aéroréfrigérant	G11	TR
Alarm_Signalisations_Consignées	G2	ICS
Alarm_Disj_perte_SF6_2_stade	G4	DISJENCTEUR
Alarm_Défaut_commande_disjoncteur	G4	DISJENCTEUR
Alarm_Manque_SO	G1	T1SOURCE
Alarm_Régulation_en_anomalie	G11	TR
Alarm_température_TSA	G11	TR
Alarm_Déclenchement_par_surchARGE_thermiq...	G10	TSA
Alarm_Fermeture_Disjoncteur_par_CCN	G8	FUSE
Alarm_Manque_T1	G1	T1SOURCE
Alarm_Protection_différentielle_en_anomalie	G5	PROTECTION

Figure 5-8 Liste de classification des alarmes

5.4. Sélection des Experts

Après avoir classé les alarme et lié chaque alarme avec l'équipement défaillant, il nous reste à sélectionner l'expert.

5.4.1. Représentation/ Elaboration du cas

A partir des connaissances reçu, nous avons développés la représentation de cas pour notre système de sélection. Un exemple de cas est présenté dans la (Tableau 5-3). Sa structure dans la base de cas a été choisie de façon à ce qu'elle montre facilement les différentes informations sur les alarmes.

Tableau 5-3 Représentation d'un cas

Case	Context		Triggering Part				Solution	
	Localization		Alarm	Alarm Class	Emergency level	Equipment	Be solved by	Diagnostic Action
	Zone	Sub Zone						
	ds ₁	ds ₂	ds ₃	ds ₄	ds ₅	ds ₆ ^{Value} ds ₆ ^{FM}	ds ₇	ds ₈
Source 1	TLE	137	deficiency of T2	G1	Hight	T2 Abnormal	Id_Expe rt	Act1
Target	TLE	406	Buchholz TSA	G11	Hight	TSA Abnormal		

5.4.2. Etape de remémoration

Pour remémorer un cas similaire le plus favorable à l'adaptation, nous devons évaluer dans un premier temps la ressemblance entre les descripteurs et entre les attributs de chaque descripteur. En effet, pour la partie localisation, les descripteurs de problème du cas cible et des cas sources vont être comparés.

- Mesure de Remémoration (MR)

Comme c'est présenté dans le chapitre 4, la Mesure de Remémoration (MR) dépend de la formalisation du cas en tenant compte de la similarité entre trois attributs composant le descripteur, plus une fonction déterminant la présence de ce descripteur dans le cas source.

En l'appliquant, la formule d'Equ.1 (chapitre 4) sur le cas cible présenté dans le Tableau 5-1 nous trouvons les résultats suivants :

$$R_M(S_1, T) = \frac{(1 \times 1) + (0 \times 1) + (0 \times 1) + (0,4 \times 1) + (1 \times 1) + (0 \times 1 \times 1)}{6} = 0,4$$

Toutes les similarités locales, entre les cas source et Target, sont calculées en utilisant la même formule (voir le résumé des calculs sur la figure 5-10).

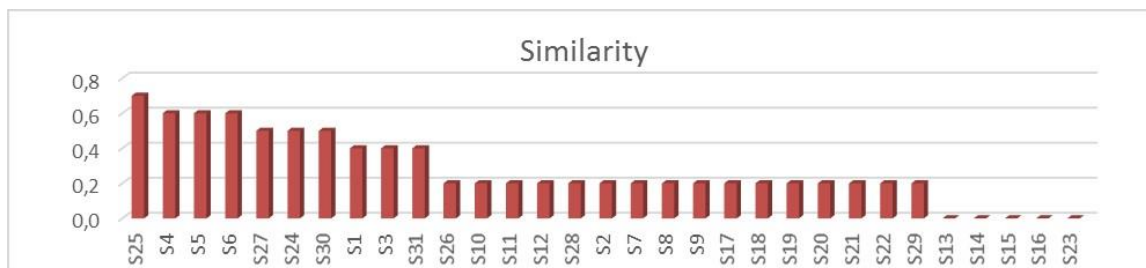


Figure 5-9 Résultats des calculs de similarité

Selon les résultats obtenus, les cas sources de la phase 'Mesure de Remémoration', qui ont la plus grande valeur de mesure de similarité (S25, S4, S5, S6, ..., S31), sont sélectionnés pour l'étape de mesure d'adaptation. Un total de 10 cas est sélectionné.

- Mesure Adaptation (AM)

Il convient de noter que la mesure d'adaptation (AM) est calculée uniquement en fonction des descripteurs de la première partie de Triggering, car le niveau d'urgence est exprimé dans cette partie. Par conséquent, le cas source avec la plus grande valeur de la mesure d'adaptation, parmi les cas sources récupérés, sera le candidat sélectionné pour la prochaine étape.

Maintenant, nous procédons au calcul de la mesure d'adaptation (MA) aux cas sources les plus similaires au cas cible :

$$AM(S_{25}, T) = \frac{(0 \times 1) + (0,4 \times 1) + (1 \times 2^2)}{3} = 1,4$$

En appliquant le calcul sur les cas, nous trouvons les résultats suivants :

Tableau 5-4 Mesure d'Adaptation

	S25	S4	S5	S6	S27	S24	S30	S1	S3	S31
AM	1,4	1,8	0,8	0,4	1,6	1,3	2	1,4	1,9	1,6

Nous observons que les cas de source 25,1, 3, 4, 5, 26, 27, 10, 28, et 24 ont les mêmes mesures de similarité égale à 4. Nous remarquons aussi que les cas 6, 11, 12 et 30 ont une AM égale à 2. Par conséquent, le degré élevé de AM exprime les cas de parfaite satisfaction et seront candidats pour la phase d'adaptation.

5.4.3. Adaptation

A partir de l'ensemble des cas récupérés, l'adaptation proposée est basé sur deux niveaux de sélection décrite dans les deux étapes suivantes :

Ranking par rapport à L'évaluation du cas et le Ranking par rapport à Commitment_Level.

En utilisant le OWL API de java, nous arrivons à calculer le Commitment_Level pour chaque expert. Par la suite, nous appliquons une deuxième requête. Cette requête permet de faire un ranking des experts en fonction de leur Commitment_Level. Ce résultat nous permet d'affiner le processus de sélection des experts

Notre objectif dans cette étude est d'améliorer le processus de sélection à travers la phase d'adaptation. Nous nous sommes concentrés en particulier sur une méthode basée sur le Ranking à travers des requêtes en SPARQL.

En tenant compte des résultats issus de l'étape de Remémoration, nous appliquons la première étape de ranking 'par rapport à l'évaluation'. Il faut récupérer les experts grâce au filtre utilisé dans la requête SPARQL pour ne retourner que les instances expert ayant participé à des cas stockés et évalués avec succès. Avec cette requête (figure 5-10), nous récupérerons tous les experts dans une liste (figure 5-11).

```
PREFIX ns: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1444841142.owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
SELECT ?case_ID ?success ?Cost ?Time ?expert
WHERE

{?s ns:case_ID ?case_ID;
  ns:hasEvaluation ?evaluation.
 ?evaluation ns:cost ?Cost;
             ns:Time ?Time;
             ns:success ?success;
             ns:relateTo ?expert.
  FILTER (regex(str(?success), "S","i"))
 ?expert rdf:type ns:expert.}
```

Figure 5-10 Requête de filtrage d'après l'évaluation

case_ID	success	Cost	Time	expert
C24	S	418.0	2015-09-16T00:33:00	expert_9
C31	S	635.0	2015-09-07T00:43:00	expert_12
C30	S	157.0	2015-09-23T00:38:00	expert_12
C4	S	578.0	2015-10-02T00:20:00	expert_2
C3	S	400.0	2015-09-28T00:30:00	expert_2
C1	S	234.0	2015-09-09T00:31:00	expert_1
C25	S	400.0	2015-09-21T00:44:06	expert_10
C27	S	216.0	2015-10-09T01:16:00	expert_10

Figure 5-11 liste des experts où Dataproperty Success='S'

Lorsque cette liste est récupérée, nous appliquons l'algorithme qui calcule le Commitment_Level. Pour appliquer le programme, nous avons besoin des valeurs de coût et du temps. Dans notre étude, nous nous sommes basés sur une simulation de Monte Carlo. De nombreux travaux utilisent des techniques basées sur la simulation pour modéliser des incertitudes, observer leurs impacts ou encore évaluer la robustesse des ordonnancements. Au final, la simulation permet de réaliser des comparatifs sur un grand nombre de solutions et de ne conserver que le meilleur compromis. On appelle méthode de Monte-Carlo toute méthode visant à calculer une valeur numérique, et utilisant des procédés aléatoires, c'est-à-dire des techniques probabilistes. Le nom de ces méthodes fait allusion aux jeux de hasard pratiqués à Monte-Carlo (Roger 2006). En utilisant cette méthode, on obtient la distribution de tous les résultats possibles du classement des experts en analysant un modèle plusieurs fois, en utilisant à chaque fois des valeurs d'entrée choisies par hasard à partir des distributions de probabilité des facteurs (temps, coût et nombre de participation).

En raison des différents facteurs et parce que de nombreuses valeurs que chacun de ces facteurs peuvent prendre, il pourrait y avoir un nombre infini de combinaisons possibles qui pourraient affecter la sélection de l'expert.

La simulation de Monte Carlo a été exécutée pour 1000 itérations afin de générer l'ensemble de données stochastiques pour l'exploration de données. Chaque enregistrement de données généré par la simulation de Monte Carlo représente une évaluation de case_solution et est classé dans l'un des cinq groupes suivants: EXP1, EXP2, EXP9, EXP10 et EXP12 (liste d'experts obtenue à partir de la première étape du classement). Le coût, le temps et le nombre de jeux de données de participation ont été générés sur la base d'une distribution uniforme. Tableau 5.3 montre l'un des jeux de données simulés pour le calcul du temps, du coût et du niveau CommitmentLevel (ComL) en utilisant l'équation (3) et l'équation (4).

Tableau 5-5 Calcul du CommitmentLevel (ComL)

	PRate	Max_PRate	Time	Cost	ComL
Expert_1	0,2	0,8	0,30	0,40	1,51
Expert_2	0,3	0,7	0,65	0,34	1,70
Expert_9	0,1	0,9	0,87	0,25	2,01
Expert_10	0,1	0,9	0,89	0,84	2,63
Expert_12	0,2	0,8	0,84	0,30	1,95

La valeur de Max représente le taux maximum de participation, égale 1.

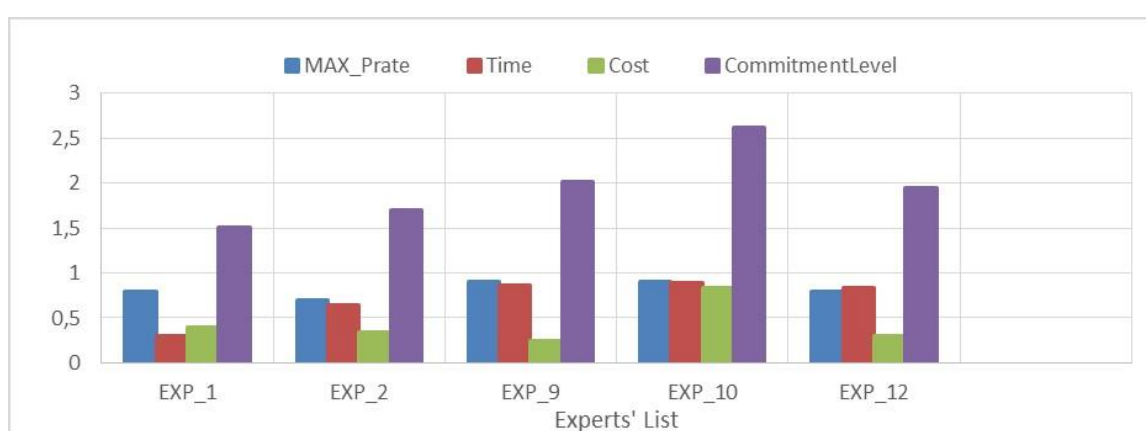


Figure 5-12 Résultats du calcul le CommitmentLevel (ComL)

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le premier dans la liste sera l'expert qui a une valeur minimale du Commitment_Level, calculé à partir de la valeur moyenne du temps, la valeur moyenne du coût et le taux.

D'autres requêtes sont mises en œuvre. L'interrogation proposée ci-dessous porte sur des propriétés de type DataProperty Commitment_Level qui restitue une liste ordonnée d'experts. Dans l'exemple (figure 5-14), les individus, leurs Commitment_Level et taux de participation sont affichés avec le coût et temps des cas ayant participé avec l'exécution de la requête (figure 5-13).

```

PREFIX ns: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1444841142.owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
SELECT ?expert ?comitmentLevel ?success ?Cost ?Time ?domain
WHERE
{
  ?s ns:cost ?Cost;
    ns:Time ?Time;
    ns:success ?success;
    ns:relateTo ?expert.
  FILTER (regex(str(?success), "S","i"))
  ?expert rdf:type ns:expert;
    ns:comitmentLevel ?comitmentLevel;
    ns:hasSkill ?skill.
  ?skill ns:hasDomain ?domain.
  ?domain rdf:type ns:domain;
}
ORDER BY ASC (?comitmentLevel)
    
```

Figure 5-13 Requête de filtrage d'après ComitmentLevel

expert	comitmentLevel	success	Cost	Time	domain
expert_1	1.65	S	234.0	00:31:00	Electronic
expert_2	1.85	S	488.0	00:25:00	Electrotechnical
expert_12	1.91	S	396.0	00:40:50	Mecanical
expert_9	1.97	S	418.0	00:33:00	Electronic
expert_10	2.02	S	222.0	01:00:00	Electronic

Figure 5-14 liste des experts classé suivant le Data_Property Commitment_Level

Afin de répondre à l'exigence du manager, nous pouvons lui donner la possibilité de limiter le nombre d'experts à afficher.

expert	comitmentLevel	ParticipationRate	success	Cost	Time
expert_1	1.58	0.2	S	214.0	2015-09-09T00:41:00
expert_10	1.78	0.3	S	560.3333	2015-09-21T00:59:06

Figure 5-15 liste limité des experts classé

5.4.4. Révision et Capitalisation (revise and retain)

Au cours de la phase de révision du cycle RàPC, la solution proposée à l'issue de la phase d'adaptation sera évaluée. Cette évaluation concerne le test de la solution proposée dans le monde réel. Dans notre situation, le teste sert à voir si l'expert choisi de l'étape adaptation a résolu le nouveau problème. La phase de révision consiste donc à continuer éventuellement l'élaboration de la solution cible si besoin. Par conséquent, si l'affectation expert/nouveau problème est jugée insatisfaisante alors elle va être corrigée. Dans notre cas, ces corrections peuvent être apportées par le manager, qui peut donner sa propre évaluation par rapport à la sélection fournie via le système de RàPC. Le cas, révisé et validé, peut être appliqué et devient une nouvelle expérience qui doit être capitalisée dans la base de cas.

5.5. Discussion

Afin de valider notre approche, nous proposons de faire une comparaison entre nos résultat et ceux basée sur le *skill* statique 'sélection classique'. Pour réaliser cette comparaison, nous avons créé un processus de sélection pour générer une liste des experts basée sur le niveau de *skill* dans un domaine comme un critère de sélection. D'après le domaine fourni par le manager, nous interrogeons la base des connaissances avec la requête suivante :

```
PREFIX ns:<http://www.owl-ontologies.com/Ontology1444841142.owl#>
PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
SELECT ?expert ?skillLevel?domain
WHERE
{
?expert  rdf:type ns:expert;
         ns:expert_id ?expert_id;
         ns:hasSkill ?skill.
?skill   ns:skillLevel ?skillLevel;
         ns:hasDomain ?domain.
?domain  rdf:type ns:domain;
         FILTER ((?domain) IN ( ns:Electronic, ns:Electrotechnical))
}
```

Figure 5-16 Requête de filtrage d'après le domaine

Le résultat de filtrage par rapport au domaine est présenté dans la figure ci-dessous :

expert	skillLevel	domain
expert_6	3	Electronic
expert_1	3	Electronic
expert_11	2	Electronic
expert_10	2	Electronic
expert_9	2	Electronic
expert_13	2	Electronic
expert_5	3	Electrotechnical
expert_2	4	Electrotechnical

Figure 5-17 liste des experts filtré par domaine

La requête précise que dans un domaine donné, nous allons faire sortir tous les experts avec leurs niveaux de *skill*. Il faut noter que ces derniers sont affectés par le manager de l'entreprise. Par la suite, nous appliquons un ranking d'après leur niveau *skill* pour récupérer une liste finale ordonnée (figure 5-18).

expert	skillLevel	domain
expert_2	4	Electrotechnical
expert_1	3	Electronic
expert_5	3	Electrotechnical
expert_6	3	Electronic
expert_10	2	Electronic
expert_11	2	Electronic
expert_13	2	Electronic
expert_9	2	Electronic

Figure 5-18 liste des experts classés par niveau de skill

D'après les deux listes des experts récupérées par les deux approches, nous constatons des différences :

- Par rapport à la connaissance tacite : la sélection dynamique de notre approche donne de meilleurs résultats que l'approche statique du faite qu'elle prend en considération les expériences passées des experts et cela en capitalisant leurs connaissances sous forme d'une base de cas pour la réutiliser dans le processus de sélection. Tandis que l'approche statique, on a un risque de perte les connaissances si le manager ne sera pas disponible.

- Par rapport au nombre d'experts : dans notre approche, nous remarquons l'absence d'expert (expert_6 et expert_13) par rapport à la liste du deuxième approche. Rappelons que notre approche se base sur un critère important qui est l'expérience, nous estimons que ces deux experts n'ont aucune expérience dans ce genre de problème.
- Par rapport au classement : si nous limitons le nombre d'experts à sélectionner, les experts {2, 1, 5} seront affectés à la tâche de diagnostic (d'après la liste de l'approche statique). Ils sont caractérisés par un niveau de skill élevé. En outre, la sélection résultante de notre approche présente un compromis entre temps et coût qui explique le classement de l'expert 1 en premier de la liste, alors que la position de expert12 est en troisième qui est dû au taux de participation élevé par rapport à l'expert 5 {1, 2, 12} et ce expert n'est pas sélectionné dans l'autre approche.

Le recours à une telle comparaison offre la chance de tendre vers l'idéal où le gain est garanti pour l'entreprise. En effet, désigner la ressource humaine la plus adéquate pour une tâche de diagnostic permet, d'une part, de réduire voire anéantir le coût de pénalité à supporter et d'autre part de capitaliser la connaissance de la ressource humaine.

5.6. Synthèse

Dans le but de présenter concrètement la matérialisation concrète de notre théorie et méthode qui ont été élaborées auparavant, nous avons présenté dans ce chapitre l'implémentation de notre système aide à la décision.

Notre proposition a été structurée avec quatre éléments: (i) l'utilisation de l'ontologie FOMES comme support pour le domaine, (ii) les métaheuristiques pour la gestion de corrélation des alarmes, (iii) l'approche REX pour la sélection des experts, et (iiii) le raisonnement à partir de cas comme une technique de résolution de problèmes qui est basé sur l'adaptation de la solution des expériences passées.

Références Bibliographiques

- CHERIF, M.F. & CHERIF, K., 2014. *Calcul des protections d'une ligne de transport électrique htb-220kv*,
- Roger, M., 2006. *Modèles de sensibilité dans le cadre de la méthode de Monte-Carlo : illustrations en transfert radiatif*.
- Vu, T., 2011. *Répartition des moyens complémentaires de production et de stockage dans les réseaux faiblement interconnectés ou isolés*.

Conclusion Générale
&
Perspectives

Conclusion Générale & Perspectives

Les services de maintenance interviennent pour maintenir ou remettre en état de bon fonctionnement les équipements. Ils agissent alors pour corriger ce changement d'état. Nous nous sommes intéressés dans cette thèse à la maintenance corrective qui est exécutée après l'apparition d'une alarme. Les actions de maintenance corrective ne sont exécutées qu'après la réalisation d'un diagnostic. Ce diagnostic identifiera la cause de la défaillance pour donner la nature des actions de réparation à accomplir. En effet, nous avons réalisé un état de l'art des systèmes traitant le diagnostic. Nous avons identifié deux axes de recherche. Le premier s'intéresse à la gestion des alarmes dans la phase de supervision. Le second s'intéresse à la gestion des ressources humaines pour une meilleure affectation à la tâche de diagnostic. Par conséquent, notre méthode proposée est une combinaison de deux axes. Ils ont porté sur l'étude de la mise en place d'un système d'aide au pré-diagnostic industriel basé sur l'approche du raisonnement à partir de cas (RàPC).

Nous avons organisé nos travaux en trois parties.

Dans la première partie, nous avons commencé par la présentation de notre domaine d'étude qui est la maintenance industrielle. Après, nous avons passé à l'utilisation des ontologies dans la maintenance intelligente. Le rôle important de la base de connaissances dans la plateforme de s-maintenance tourne autour de deux points principaux à savoir la maintenance sémantique (maintenance intelligente) et l'exploitation et la réutilisation des connaissances. Pour avoir une base de connaissances solide et partageable ayant une plus large utilisation que les bases de connaissances traditionnelles, les ontologies sont présentées comme la solution potentielle qui explique la conceptualisation du monde réel par des concepts fondamentaux. Nous avons constaté que les ontologies étudiées dans cette recherche ne répondent pas à notre besoin. D'où, le développement d'une nouvelle ontologie appelée FOMES (Feedback-CBR Ontology for Maintenance Expert Selection) une version étendue du IMAMO (Industrial MAintenance Management Ontology).

Dans la deuxième partie, afin d'aider les opérateurs dans le processus de diagnostic nous avons étudié la corrélation des alarmes. La gestion des alarmes consiste à réduire le nombre des alarmes affichées au manager ou bien organiser l'affichage des alarmes. Après une synthèse des travaux étudiés, nous avons trouvé qu'il existe des systèmes qui traitent une corrélation en fonction du temps d'apparition des alarmes et d'autre système qui s'intéressent sur une corrélation en fonction de fausse alarmes. Par conséquent, nous avons décidé de construire notre propre système en proposant de traiter la corrélation sémantique en s'appuyant sur la classification en

fonction des équipements défaillants. Cette approche permet au manager une lisibilité bien claire sur le flux d'alarme d'une part et d'autre part, l'information résultat de cette phase sur l'équipement défaillant sera un critère important dans le deuxième système de sélection des experts, comme nous avons démontré dans la base de cas (chapitre 5).

Dans la troisième partie, nous avons traité la problématique de sélection des acteurs. Elle est liée à la conduite des processus industriels est justifiée davantage par une diversité de travaux des recherches qui s'est intéressée à l'intégration conjuguée des compétences, des préférences, un degré de spécialisation dans un domaine, l'âge, etc, dans les problèmes d'affectation, de planification ou d'ordonnancement. Cette émancipation a engendré un changement au niveau des formulations de ces problèmes. Parmi les critères le plus important, la notion de compétence. C'est la capacité permettant d'exercer convenablement une fonction ou une activité. Les compétences influent sur la durée des tâches. La durée d'une tâche n'est alors plus une donnée, mais une variable dépendant de la ressource qui est en charge de son traitement. La gestion des compétences veut mettre l'accent sur les capacités d'action et d'initiative des individus dans leurs situations professionnelles. Elle a donc pour objectif d'organiser et d'instrumenter une prise de décision orientée vers la production et la diffusion de ces compétences rendant ainsi nécessaire leur repérage et leur reconnaissance. Au long de cette thèse, nous avons étudié les critères de sélection des acteurs de maintenance et nous avons montré la nécessité d'avoir d'autres critères pour améliorer le processus de sélection. Nous avons proposé d'intégrer de nouveaux critères à savoir la compétence dynamique via l'expérience. Une méthodologie de démarches de retour d'expérience autour du raisonnement à partir de cas. Cette méthodologie consiste à proposer une démarche élaborée en quatre phases qui nous a permis de capitaliser les expériences des experts. Nous avons d'abord introduit les principes généraux du RàPC et leur application dans le système de sélection des experts afin d'assurer l'efficacité et de minimiser les deux facteurs fiabilité (coût et temps). Nous mettons une étude particulière pour les deux phases de remémoration et d'adaptation. Nous avons tenu compte, à partir des travaux de Smyth et Keane, du lien entre ces deux phases. Basé sur les travaux de Haouchine, nous avons proposé une méthode de remémoration guidée par l'adaptation en mettant en place deux mesures : la mesure de remémoration (M_R) et la mesure d'adaptation (M_A). La mesure de remémoration est définie par des mesures de similarité locales, associées à chaque type de descripteurs, relatives à l'état du composant, à son mode de fonctionnement et à sa présence. La mesure d'adaptation a pour objectif de choisir, parmi les cas remémorés, le cas le plus facilement adaptable. Cette mesure tient compte du cas d'urgence d'une situation en mettant un poids λ_i .

Notre objectif dans cette étude est d'améliorer le processus de sélection à travers la phase d'adaptation. Nous nous sommes concentrés en particulier sur une méthode basée sur le Ranking à travers des requêtes en SPARQL. Nous avons proposé un algorithme d'adaptation dédié aux systèmes de pré-diagnostic par RàPC. Cet algorithme s'appuie sur deux niveaux de sélection, Ranking par rapport à l'évaluation du cas et Ranking par rapport à *Commitment_Level*. Ce dernier est un nouveau DataType de la classe Expert qui est relatif à la compétence dynamique. La valeur de cet attribut est basée sur le temps (t), le coût (c) et le taux de participation (Taux) pour chaque expert.

Enfin, nous avons appliqué notre approche sur un système industriel à savoir réseau électrique. Nous avons conclu que les résultats obtenus sont très satisfaisants.

Perspective de ce travail

Pour le moment, la finalisation de l'implémentation du système aide à la décision est en cours de réalisation.

Certaines véritables contributions de cette étude peuvent être signalées. Vu que la méthode est expérimentale, sa validation doit passer par une application à grande échelle qui pourrait attester pour tout type d'alarme et de domaine différent. Notre recherche est basé sur l'intégration de l'ontologie dans les approches d'intelligence artificielle, cependant, il y a encore beaucoup de travail à faire pour atteindre le but souhaité.

Quant au raisonnement, ce que nous avons appliqué dans la méthode sélection des experts est encore une approche intégrale. Cette approche pourrait être un défi lorsque l'ontologie est distribuée ou que l'ontologie intégrée est très grande. Donc, nous estimons premièrement d'optimiser le temps de calcul de la propriété *Commitement level* afin de raffiner la sélection des experts. Deuxièmement, inspirer une méthode pour maintenir notre ontologie.

Malgré tous les efforts fait sur les ontologies, nous soulignons que le problème de l'interopérabilité est un problème récurrent. Pour résoudre ce problème de boucle, les universitaires encouragent l'utilisation d'ontologies de référence (ontologies de haut niveau). Afin de nous aligner sur cette recommandation, nous prévoyons de construire une nouvelle version de l'ontologie de maintenance FOMES dans laquelle elle se base sur Basic Formal Ontology (BFO).

Nous allons aborder toutes ces limites et les questions dans notre prochaine phase de recherche.

Résumé :

L'un des principaux processus dans un système de maintenance est le diagnostic. Un processus de diagnostic se déclenche par une alarme, signe de la détection d'une panne. La détection de la panne est indispensable pour que les mécanismes de réparation puissent se réaliser et remettre le système dans un état opérationnel.

Dans ce contexte, les contributions apportées dans cette thèse sont basées sur les deux points suivants : le premier point consiste à montrer l'efficacité d'une bonne gestion d'alarme. Pour cela, nous avons conçu un moyen pour gérer l'inondation d'alarme. Un tel système permet d'aider les opérateurs à réduire la quantité d'informations, en regroupant certaines alarmes. Cette gestion est basée sur la corrélation sémantique.

Le deuxième objectif scientifique, nous envisageons de développer un système d'aide à la décision pour la sélection d'experts. La sélection des experts représente un processus crucial pour l'amélioration de la compétitivité des entreprises. Dans les secteurs industriels caractérisés par la complexité des équipements exploités, le processus de sélection des experts peut être considéré comme un problème multicritères, qui doit théoriquement être formalisé et adapté à des contextes spécifiques. Nous développons un modèle de sélection et d'affectation d'experts plus élargie en termes de critères de sélection en intégrant un critère subjectif qui est l'expérience passée. Le modèle développé est basé sur l'exploitation de l'ontologie FOMES décrivant le domaine et d'un outil de formalisation de l'expérience via le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC).

Mot clés :

Maintenance industrielle; Diagnostic; Alarme; Ontologies, Raisonnement à Partir de Cas.

Abstract:

One of the main processes in a maintenance system is the diagnosis. A diagnostic process is triggered by an alarm, sign of the detection of a failure. Failure detection is essential for the repair and reconfiguration mechanisms to be realized and to restore the system to an operational state.

In this context, the contributions made in this thesis are based on two points: The first point is to show the effectiveness of good alarm management. For this, we have devised a way to handle flood alarm. Such a system helps operators to reduce the amount of information by grouping certain alarms. This management is based on semantic correlation.

The second scientific objective is to develop a decision support system for the selection of experts. The selection of experts is a crucial process for improving business competitiveness. In industrial sectors, which are characterized by the complexity of the equipment used, the process of experts' selection can be considered as a multi-criteria problem, which should theoretically be formalized and adapted to specific contexts. In this work, a model of selection and assignment of experts is developed; it is broader in terms of selection criteria, as it integrates a subjective criterion which is past experience. The model developed here is based on the exploitation of an ontology describing the domain and also a tool for experience formalization via case-based reasoning (CBR). The developed model is applied to a specific case.

Keywords:

Maintenance process; Diagnostic; Alarm; Ontology; Case-Based Reasoning.

ملخص:

يعتبر التشخيص واحدة من العمليات الرئيسية في نظام الصيانة. يتم تشغيل هذه العملية عن طريق إنذار، علامة تدل على وجود العطل. ويعد الكشف عن العطل أمرا ضروريا لآليات الإصلاح لتكون قادرة على ارجاع وضع النظام في حالة تشغيلية. وفي هذا السياق، تستند المساهمات المقدمة في هذا العمل إلى نقطتين: النقطة الأولى هي إظهار فعالية الإدارة الجيدة للإنذار. لهذا، وضعنا طريقة للتعامل مع كمية الهائلة من إنذار. ويساعد هذا النظام للعاملين على تقليل كمية المعلومات عن طريق تجميع بعض الإنذارات. وتستند هذه الإدارة إلى العلاقة الدلالية.

والهدف العلمي الثاني هو وضع نظام لدعم قرارات اختيار الخبراء. ويعتبر اختيار الخبراء عملية حاسمة لتحسين القدرة التنافسية للشركات. وفي القطاعات الصناعية التي تتسم بتعقيد المعدات المستغلة، يمكن اعتبار عملية اختيار الخبراء مشكلة متعددة المعايير، والتي من الناحية النظرية يجب أن تكون رسمية ومنتكيفة مع سياقات محددة. وقد طورنا نموذجا أوسع للاختيار وتعيين الخبراء من حيث معايير جديدة من خلال إدراج معيار ذاتي وهو الخبرة السابقة. ويستند النموذج الذي تم تطويره على استغلال علم انطولوجيا FOMES من اجل وصف المجال وأداة للاستغلال التجربة عبر تقنية RàPC.

كلمات مفتاحية:

عملية الصيانة؛ التشخيص؛ إنذار؛ الأنطولوجيا. الاستدلال المبني على حالة.