



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département De Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation

Thème

**Développement d'un système à base de connaissance basé
sur la technologie sémantique pour la maintenance des
instruments industriels**

Cas industriel: Algerian Qatari Steel (AQS)

Présenté et soutenu publiquement par :

Amirate Abdelkarim.

Et

Boulghobra Chahreddine.

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
AOUIMER Yamina	MCB	IMSI-Université D'Oran 2	Président
TITAH Mawloud	MCB	IMSI-Université D'Oran 2	Encadreur
ROUANE SERIK Mehdi	MCB	IMSI-Université D'Oran 2	Examineur

Année 2021/2022

Remerciement

Nous tenons à remercier tout d'abord mon encadrant ***Titah Mawloud***, pour la confiance qu'il m'a témoigné en acceptant la direction de ce travail.

Mes respects et ma gratitude vont également aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Je remercie Dr. ***Djebli Yamina***, pour avoir présidé le jury de ce mémoire.

Je remercie aussi l'examineur Dr. ***Rouane Sérîk Mehdi***, qui a bien voulu accepter de juger notre travail.

Dédicace

Ce présent mémoire est le fruit de dur labeur et de plusieurs années de travail

que j'aimerais dédier En premier lieu, à ces personnes là à :
Mes très chers parents qui se sont énormément sacrifié pour mon éducation et que je n'arriverai jamais à remercier suffisamment

Mon frère MEHDI qui est en étranger.

Ma Douce Mère qui compte le plus pour moi, merci d'être Ma Mère.

Ma petite Sœur bien sur, Mes Tantes, Et toute Mes grandes Familles
"AMIRAT" Et "FERDJALLAH".

Pour leurs soutiens démesurés et leurs présences pendant tout mon cursus,
à qui je souhaite beaucoup de réussites dans leurs vies.

Que dieux me les garde.

Mes collègues et amis

Que dieux vous protège tous

Oussama

.

A tous ceux que j'aime

Résumé

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au développement d'un système à base de connaissance pour la maintenance des instruments industriels, pour la modélisation des connaissances du domaine, nous avons utilisé l'ontologie qui permet un meilleur système de partage de connaissance et d'information. Ceci pour assurer la disponibilité des équipements et faciliter un processus de prise de décision plus intelligent pour des équipements industriels. Ce système est basé sur l'ontologie des opérations manufacturières MASSON en identifiant un ensemble des concepts de fabrication et leurs relations, nous avons utilisé le langage OWL pour la modélisation des connaissances du domaine et les règles SWRL pour la modélisation des connaissances d'inférence, et pour la sélection des connaissances liées à la maintenance, nous avons utilisé les requêtes SQWRL. Ensuite, une application de notre système dans la société AQS a été présentée pour démontrer l'importance de notre système.

Mots-clés : *Système à base de connaissance, partage des connaissances, Ontologie, MASSON, Langage Ontologique Web (OWL), Langage des Règles Web Sémantique (SWRL), requêtes SQWRL, AQS.*

Abstract

In this work we were interested in the development of a knowledge-based system for the maintenance of industrial instruments, for the modeling of domain knowledge; we used the ontology which allows a better system of knowledge sharing and information. This by ensuring the availability of equipment and facilitating a smarter decision-making process for industrial equipment. This system is based on MASSON manufacturing operations ontology by identifying a set of manufacturing concepts and their relationships, we used OWL language for domain knowledge modeling and SWRL rules for inference knowledge modeling, and for maintenance-related knowledge selection, we used SQWRL queries. Then, an application of our system in the AQS Company was presented to demonstrate the importance of our system.

Keywords: *Knowledge-based system, knowledge sharing, Ontology, MASSON, Web Ontological Language (OWL), Semantic Web Rules Language (SWRL), SQWRL queries, AQS.*

ملخص

في هذا العمل كنا مهتمين بتطوير نظام قائم على المعرفة لصيانة الأدوات الصناعية تم ، من أجل نمذجة معرفة المجال ، استخدمنا أنطولوجيا تسمح بنظام أفضل لتبادل المعرفة والمعلومات. هذا من خلال ضمان توافر المعدات وتسهيل عملية اتخاذ القرار الأكثر ذكاءً للمعدات الصناعية. يعتمد هذا النظام على أنطولوجيا عمليات التصنيع MASSON من خلال تحديد مجموعة من مفاهيم التصنيع وعلاقتها ، وقد استخدمنا لغة OWL لنمذجة معرفة المجال وقواعد SWRL لنمذجة المعرفة الاستدلالية ، ولتحديد المعرفة المتعلقة بالصيانة ، استخدمنا استعلامات SQWRL. بعد ذلك ، تقديم تطبيق لنظامنا في شركة AQS لإثبات أهمية نظامنا.

Les abréviations

AQS: Algerian Qatari Steel

IA: Artificial Intelligent.

API: Application Programming Interface.

CommonKADS: Common Knowledge Acquisition and Design Structuring.

JESS: Java Expert System Shell.

KA: Knowledge Acquisition.

KADS: Knowledge Acquisition and Design Structuring.

KB: Knowledge Base.

KBS: Knowledge Based System.

KE: Knowledge Engineering.

MASSON: MANufacturing's Semantics Ontology.

OWL: Ontology Web Language.

RDF: Resource Description Framework.

RDFS: Resource Description Framework Schema.

SWRL: Semantic Web Rule Language.

SQWRL: Semantic Query-Enhanced Web Rule Language.

SPARQL: Simple Protocol And RDF Query Language.

UML: Unified Modeling Language.

W3C: World Wide Web Consortium.

Sommaire

Introduction générale1

Chapitre I: Les systèmes d’information pour la maintenance industrielle2

I.1 Introduction.....2

I.2 Définitions de base de sûreté de fonctionnement et de maintenance2

 I.2.1 Types et niveaux de maintenance3

 I.2.2 Politiques et stratégies de maintenance5

 I.2.3 La fonction et le service de maintenance dans une entreprise5

I.3 Analyse du système de maintenance6

 I.3.1 Le système d’information dédié au service de la maintenance7

 I.3.1.1 Processus de maintenance8

 I.3.1.2 Données du processus10

 I.3.1.3 Acteurs du processus10

 I.3.2 Différents systèmes informatiques en maintenance11

 I.3.3 Analyse du processus de maintenance13

I.4 Différentes architectures des systèmes de maintenance15

 I.4.1 Historique et classification des architectures de maintenance15

 I.4.2 Système de maintenance16

 I.4.3 Système de télémaintenance16

 I.4.4 Système d’e-maintenance16

 I.4.5 Système s-maintenance17

I.5 Conclusion18

Chapitre II Les SBC basée sur la technologie sémantique19

II.1 Introduction19

II.2 La gestion des connaissances dans l’entreprise19

 II.2.1 Donnée, Information et Connaissance19

 II.2.2 La connaissance tacite et explicite20

 II.2.3 Le management des connaissances.....20

II.3	Système à base de connaissance	22
II.4	L'ingénierie des connaissances	23
II.5	Techniques et outils de modélisation d'une Base de connaissances	24
II.5.1	Les systèmes experts	25
II.5.2	Les systèmes linguistiques	25
II.5.3	Les ontologies	26
II.5.4	Les systèmes cognitifs	27
II.6	Technologie sémantique	27
II.7	Partage des connaissances par les ontologies	29
II.7.1	Notion d'ontologie	29
II.7.2	Composants d'ontologie	29
II.7.3	Classification d'ontologies	31
II.7.4	Ingénierie des ontologies	32
II.7.5	Ontologies et raisonnement	32
II.7.6	Formalisme d'ontologies	34
II.7.7	Outils d'ontologie	35
II.8	Interrogation de l'ontologie	37
II.8.1	Requêtes SQWRL	37
II.8.2	Requêtes SPARQL	38
II.9	Conclusion	39

Chapitre III: Conception du KBS pour la maintenance des instruments industriels.....40

III.1	Introduction	40
III.2	Développement d'un SBC p.our la maintenance des équipements industriels	40
III.3	Formalisation de la connaissance du domaine par l'ontologie MASSON	41
III.3.1	Concept de « <i>Entities</i> »	42
III.3.2	Concept d' « <i>Operations</i> »	44
III.3.3	Concept d' « <i>Resources</i> »	45
III.3.3.1	Concept d'équipements « <i>Equipment</i> »	45
III.3.3.2	Concept des ressources humains « <i>HumansRessource</i> »	46
III.4	Formalisation de la connaissance d'inférence par les règles SWRL	47
III.4.1	Procédure du choix de la stratégie de maintenance	47
III.4.2	Identifications de problème lié à la maintenance	48

III.4.3 Procédure de l'intervention	49
III.5 Sélection de la stratégie de la maintenance des équipements industriels par les règles SQWRL	50
III.5.1 Procédures du choix de la stratégie de maintenance	50
III.5.2 Identifications de problème lié à la maintenance	51
III.6 Synthèse de modèle proposé	51
III.7 Conclusion	55
Chapitre IV: "étude de cas "application de SBC pour la maintenance des équipements AQS	56
IV.1 Présentation de l'entreprise AQS	56
IV.1.1 Les unités du complexe	57
IV.1.2 Usine de production d'acier avec deux aciéries électriques (SMS)	58
IV.1.3 Laminoir (RMS)	58
IV.2 Entretien et maintenance d'un système hydraulique	59
IV.3 Formalisation de la connaissance du domaine de l'AQS par langage OWL	65
IV.4 Formalisation de la connaissance d'inférence par les règles SWRL	68
IV.5 Sélection de la stratégie de la maintenance des instruments industriels par les règles SQWRL	69
IV.6 Conclusion	72
Conclusion générale	73

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

FIGURE I.1: Types de maintenance	3
FIGURE I.2: La fonction maintenance et son contenu [Retour et al. 1993]	7
FIGURE I.3: Analyse du système de gestion de la maintenance [Rasovska, 2002]	8
FIGURE I.4: Processus général de maintenance	9
FIGURE I.5: Coopération des différents systèmes informatiques	13
FIGURE I.6: Classification de différentes architectures de maintenance	15
FIGURE I.7: Architecture d'un système de maintenance	16
FIGURE I.8: Architecture télémaintenance	16
FIGURE I.9: Architecture du concept d'e-maintenance	17
FIGURE I.10: Architecture du concept de s-maintenance	17

Chapitre II

FIGURE II.1 : Modèle hiérarchique de la connaissance et outils associés (TITAH2021)...	19
FIGURE II.2 : Cycle de management des connaissances	22
FIGURE II.3 : Schéma simplifié d'un système à bases de connaissances	23
FIGURE II.4 : Classification des modèles de connaissance et techniques manipulation Source: adapte de (Bimba et al. 2016)	24
FIGURE II.5 : Couches du Web Sémantique (Charlet & Kembellec 2016)	28

Chapitre III

FIGURE III.1 : Les catégories de connaissance dans un modèle de connaissances	41
FIGURE III.2 : Concept de fabrication	42
FIGURE III.3 : Concept de "Entities"	43
FIGURE III.4 : Concept "Entities" (problème solution)	43
FIGURE III.5 : Concept d'Operations	44
FIGURE III.6 : Concept des ressources	45
FIGURE III.7 : Concept des ressources (équipements)	46
FIGURE III.8 : Concept de ressources (agents)	47
FIGURE III.9 : Synthèse de modèle proposé	54

Chapitre IV

FIGURE IV.1: Image du complexe sidérurgique de Bellara	57
FIGURE IV.2: L'organigramme du complexe sidérurgique de Bellara AQS	57
FIGURE IV.3: L'unité de production d'acier avec deux aciéries électriques (SMP)	58
FIGURE IV.4: Laminoir (Rolling Mill)	58
FIGURE IV.5: Schéma explicatif de système hydraulique dans L'AQS	62
FIGURE IV.6: L'interface du logiciel	65
FIGURE IV.7: Les principaux concepts liés au système hydraulique dans l'AQS	65
FIGURE IV.8: Classification des équipements de système hydraulique par protégé	66
FIGURE IV.9: Les différentes relations entre concepts par protégé	67
FIGURE IV.10: Les attributs liés aux classe et individus	67
FIGURE IV.11: Les relations entre maintenance et système hydraulique par protégé	68
FIGURE IV.12: Formalisation de la connaissance d'inférence par les règles SWRL	68
FIGURE IV.13: Sélection des agents par SQWRL	70
FIGURE IV.14: Identification des composants par SQWRL	70
FIGURE IV.15: Identification des solutions par SQWRL	71
FIGURE IV.16: Sélection des agents intervenant par SQWRL	71
FIGURE IV.17: Tache de maintenance préventive par SQWRL	72

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1: Le processus de la maintenance selon les quatre types de maintenance 9

Chapitre II

Tableau II.1: Les différents raisonneurs d'une ontologie33

Tableau II.2: Les différents langages des développements d'une ontologie34

Tableau II.3: Les différents outils de développement d'une ontologie35

Chapitre III

Tableau III.1: La méthodologie de développement de l'ontologie53

Introduction générale:

Le travail de ce mémoire s'inscrit dans le cadre du développement du système à base de connaissance basé sur le web sémantique pour la gestion de la maintenance des équipements industriels qui permet un meilleur système de partage de connaissance et d'information. Ceci en assurant la disponibilité des équipements et faciliter un processus de prise de décision plus intelligent pour des équipements industriels.

Nous présentons un modèle explicite sous forme de règles de production. dans la phase de modélisation, nous avons utilisé deux types de modélisation, une modélisation à base d'une représentation ontologique pour la connaissance de la tâche et la connaissance du domaine et l'autre à base des connaissances d'experts pour la connaissance d'inférence, nous appliquons l'ontologie des tâches de fabrication MASSON pour la maintenance des équipements industriels, le système utilise tous les concepts importants du domaine de fabrication. Nous présentons un exemple d'application détaillé pour la maintenance de système hydraulique. Nous présentons la phase de modélisation utilisant le langage OWL, la phase de raisonnement par les règles SWRL et la phase d'implémentation des connaissances de domaine et d'inférence par l'éditeur Protégé. Pour mettre en place l'interrogation de l'ontologie, nous présentons les requêtes SQWRL pour la sélection des connaissances de l'ontologie MASSON pour la maintenance du système d'hydraulique.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Dans le chapitre 1, nous présenterons la maintenance des instruments industriels.
- Dans le chapitre 2, nous présenterons la technologie sémantique pour les systèmes à base de connaissance.
- Dans le chapitre 3, nous proposerons un système à base de connaissance basé sur la technologie sémantique utilisant : le langage OWL, les règles SWRL et les requêtes SQWRL pour le choix de stratégies de maintenance.
- Dans le chapitre 4, nous appliquons ce système proposé qui permettant la maintenance des instruments industriels au niveau de l'AQS (Algerian Qatari Steel). Enfin nous terminerons par une conclusion générale et les perspectives.

I.1 Introduction

La maintenance apporte une contribution essentielle à la sûreté de 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 de plus en plus automatisé. Cette fonction s'est étendue à toutes les industries et s'est répandue même dans les services. Cette expansion s'explique par la croissance des coûts des pannes et leurs conséquences dans les systèmes de production de plus en plus complexes et sophistiqués. La maintenance participe aux résultats finaux de l'entreprise et devient une des fonctions essentielles dans un système de production. Elle est passée du centre de coûts au centre de profit et participe à la compétitivité de l'entreprise dans un milieu concurrent.

L'objectif de ce chapitre est de définir ce que sont une fonction et un service de maintenance pour pouvoir proposer ce service ou cet ensemble de services à travers une plateforme distribuée communiquant sur le web. Notre contribution débute par une analyse du processus de maintenance, qui doit nous permettre de déterminer un agencement de briques intelligentes encastrées les unes dans les autres et concourant à la maintenance des équipements et à la gestion des stratégies de maintenance.

Les concepts et définitions de base liés à la sûreté de fonctionnement ainsi qu'à la maintenance industrielle sont présentés au paragraphe 2 suivi par l'introduction de la fonction de maintenance au sein d'une entreprise dotée d'un service propre, d'un budget et d'une autonomie de gestion. Dans le paragraphe 3, nous introduisons une analyse détaillée du système de maintenance. Le processus de maintenance, les données ainsi que les acteurs de ce système y sont définis et un état de l'art des systèmes informatiques dédiés à la maintenance est présenté. Le processus est ensuite structuré selon ces différents systèmes informatiques. Dans le paragraphe 4, nous définissons et classifions différentes architectures associées aux systèmes informatiques en maintenance et nous proposons une nouvelle architecture de s-maintenance basée sur la sémantique commune des systèmes.

I.2 Définitions de base de sûreté de fonctionnement et de maintenance

La sûreté de fonctionnement est « un ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité, et logistique de maintenance ».

La disponibilité est « une aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée ». Cette

aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la supportabilité de maintenance.

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 « dans des conditions données d'utilisation, une aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits ».

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 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 ». Maintenir un bien est considéré comme étant une action à long terme contrairement à l'action rétablir, considérée à court terme.

I.2.1 Types et niveaux de maintenance

La norme [Afnor, 2001] distingue différents types de maintenances appelée parfois stratégies de maintenance présentées à la figure I.1.

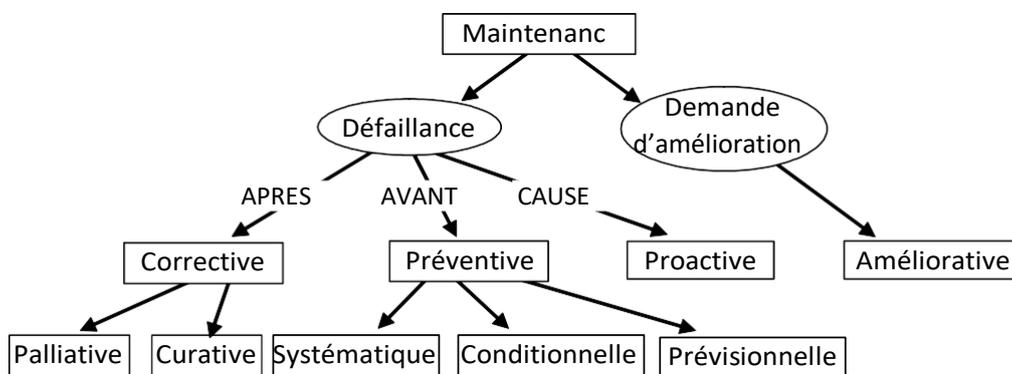


Figure I.1: Types de maintenance

La maintenance corrective exécutée après détection d'une panne est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Une intervention de la maintenance corrective peut être de caractère :

- provisoire type dépannage – maintenance palliative,
- définitif type réparations – maintenance curative.

La maintenance préventive exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de la dégradation du fonctionnement du bien. Cette maintenance se dissocie en :

La maintenance systématique exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage indépendamment de l'état du bien.

La maintenance conditionnelle basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

La maintenance prévisionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs.

La maintenance proactive est un terme émergent, selon [Monchy, 2000] elle « repose sur l'exploitation du retour d'expérience et sur l'analyse approfondie des phénomènes pathologiques à l'origine des défaillances. » Elle est basée sur la maintenance conditionnelle et prévisionnelle et s'enrichit du diagnostic des causes de pannes et défaillances.

La maintenance améliorative est exécutée afin d'améliorer les fonctions ou la fiabilité d'un équipement.

Nous présentons une typologie des différents travaux de maintenance communément utilisée en entreprise. Cette typologie classe la maintenance suivant le niveau de qualification requis pour être exécutée par un employé. La tendance actuelle est de caractériser l'organisation de maintenance par les trois niveaux regroupant les cinq anciens niveaux de la maintenance [Monchy, 2000] :

Niveau I représente la maintenance de première ligne transférée progressivement aux opérateurs de production, assistés, si nécessaire, par les techniciens de maintenance de l'antenne sectorisée.

Niveau II représente le domaine d'action privilégié des équipes polyvalentes de techniciens de maintenance. Diagnostic, interventions, mise en œuvre d'améliorations, etc.

Niveau III représente les travaux spécialisés souvent sous-traités pour que la maintenance puisse recentrer ses moyens sur son savoir-faire.

I.2.2 Politiques et stratégies de maintenance

Dans la gestion de maintenance nous distinguons les notions de politique et de stratégie de maintenance :

La politique de maintenance définit les méthodes de management utilisées en vue d'atteindre les objectifs de maintenance.

La stratégie de maintenance définit un type ou une combinaison de types de maintenance (corrective, préventive, améliorative) à appliquer à un équipement donné dans le but d'optimiser la production sur cet équipement.

Parmi différentes politiques de maintenance présentées dans la littérature [Cuignet, 2002], [Frédéric, 2003], [Boucly, 1990], [Monchy, 2000] nous citons le concept de la maintenance productive totale (TPM), la maintenance qualité totale, centrée sur la fiabilité (MBF), basée sur le risque (MBR), la maintenance en conception, le benchmarking ou encore le maintien en conditions opérationnelles (MCO). Différentes politiques de maintenance décrites en annexe A ont été appliquées et utilisées dans différents domaines industriels ainsi que dans différents pays et consécutivement dans différentes cultures.

Les deux premières (TPM et MBF) ont longtemps été opposées et orientées différemment, la TPM vers l'industrie manufacturière et la seconde MBF vers des industries de procès [Despujols, 2004]. Récemment ces deux approches ont été considérées complémentaires, la TPM correspondant plutôt à l'organisation en visant l'objectif de la disponibilité et la MBF correspondant au choix de types de maintenance en visant l'objectif de la sûreté et sécurité ainsi que la maîtrise des coûts.

La maintenance basée sur le risque est issue de la maintenance basée sur la fiabilité et a pour objectif la maîtrise des risques pour la sécurité. La maintenance en conception est un concept plus large s'intéressant davantage aux processus de fabrication qu'elle cherche à améliorer de façon continue.

I.2.3 La fonction et le service de maintenance dans une entreprise

Après avoir présenté quelques définitions de base, nous allons préciser le rôle de la maintenance dans une entreprise. Dans l'histoire de la fonction de maintenance nous pouvons identifier son évolution d'un simple service d'entretien comme une sous fonction de la production vers un système complexe de maintenance [Monchy, 2000]. L'entretien correspond à des actions de maintenance systématique. Le dépannage et la réparation étaient faits après défaillance indépendamment des coûts engendrés. Avec le temps, la question de sécurité s'est posée, et avec cela la maîtrise des systèmes automatisés.

Pour bien analyser la maintenance industrielle, nous allons définir et préciser la différence entre deux termes essentiels concernant la maintenance dans une entreprise [Boucly, 1990]. Il s'agit de la fonction maintenance et du service maintenance.

La fonction de maintenance des équipements en service devient dernièrement une des fonctions essentielles de l'entreprise. Elle contient le bureau de méthodes, l'ordonnancement (approvisionnement) et la réalisation de la maintenance.

Le service de maintenance représente une structure ayant un certain niveau d'autonomie et assurant les tâches de la fonction de maintenance. Le service de maintenance effectue les interventions de maintenance avec son personnel et son budget propre. Cette autonomie de gestion peut éventuellement permettre d'externaliser la fonction de maintenance en la sous-traitant à une entreprise de maintenance et donc passer la maintenance d'un objectif secondaire à l'objectif primaire.

Les entreprises cherchent à améliorer le système actuel de maintenance par l'entremise de deux niveaux stratégiques [Francastel, 2001] :

Le premier niveau vise à renforcer le service de maintenance dans l'entreprise elle-même, c'est-à-dire au niveau des ressources internes nous parlons d'internalisation de la fonction de maintenance.

Le deuxième niveau fait appel à des ressources externes de l'entreprise par le biais de sous-traitants (réduction de service de maintenance) nous parlons d'externalisation de la fonction de maintenance.

D'autres stratégies combinant ces deux dernières sont possibles et permettent ainsi la création de réseaux d'entreprises clients et fournisseurs plus ou moins indépendants les uns des autres.

I.3 Analyse du système de maintenance

Quant à la définition d'un système, selon [Spadoni, 2004] c'est « un ensemble de méthodes et de procédés destinés à assurer une fonction définie ou à produire un résultat. Il est donc important d'en préciser son objectif et ses concepts. » Les concepts de base d'un système d'entreprise sont les entités de l'entreprise, les processus opérationnels et les rôles des acteurs [Eriksson & Penker, 2000]. Les processus opérationnels décrivent le flux de contrôle du système, autrement dit le comportement opérationnel du système [Vernadat, 1996]. Un système est décrit comme un ensemble d'éléments en interaction entre eux et avec l'environnement, intégré pour rendre à son environnement les services correspondants à sa finalité

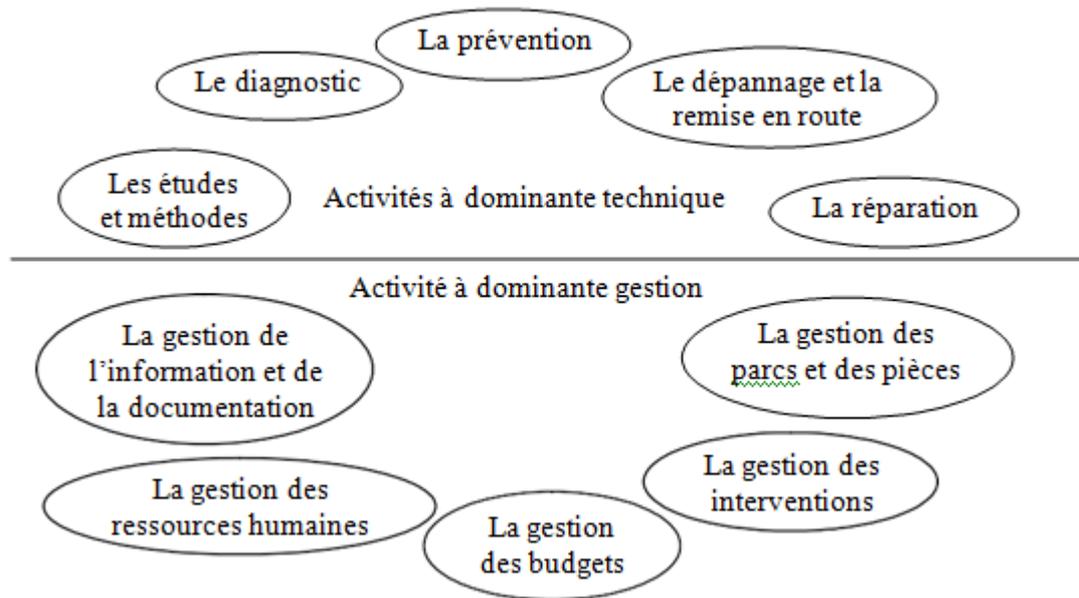


Figure I.2: La fonction maintenance et son contenu [Retour et al. 1993]

Pour analyser le système de maintenance, nous allons étudier le contenu de la fonction maintenance (voir la figure 1.2.) présentée dans [Retour et al. 1993] comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles :

- les activités relatives à ses aspects techniques,
- les activités relatives à la gestion et à l'organisation de la maintenance.

Le champ à dominante technique représente les tâches industrielles primaires d'entretien et est souvent englobé dans la supervision notamment quand il s'agit de traiter des systèmes complexes tels que des centrales nucléaires [Piechowiak, 2003]. Le champ des activités à dominante gestionnaire représente les tâches de gestion du parc d'équipements, les ressources humaines et matérielles, la documentation, .etc.

Dans l'analyse du système de maintenance nous nous intéressons à l'échange d'informations. Notre objectif est de décrire le système d'information qui en découle et qui peut ensuite servir de support pour les systèmes informatiques. Ces systèmes sont proposés dans l'objectif d'automatiser la réalisation des différentes tâches identifiées dans le processus de maintenance.

I.3.1 Le système d'information dédié au service de la maintenance

D'abord nous rappelons la définition d'un système d'information. Selon [Wikipedia, 2005] c'est « un système, automatisé ou manuel, qui comprend des hommes, des machines et des méthodes organisés pour assembler, transmettre et répandre des données qui représentent de l'information pour les utilisateurs. Selon leur finalité principale, on distingue des systèmes

d'information supports d'opérations (traitement de transaction, contrôle de processus industriels, supports d'opérations de bureau et de communication) et des systèmes d'information supports de gestion (aide à la production de rapports, aide à la décision...)

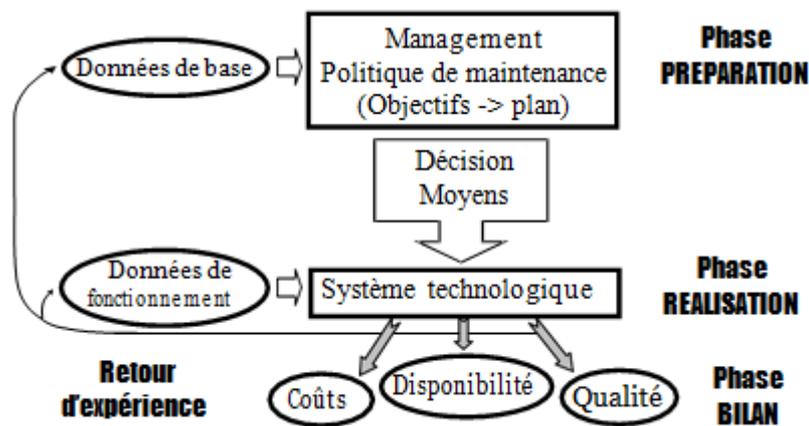


Figure I.3. Analyse du système de gestion de la maintenance [Rasovska, 2002]

L'analyse du système de gestion de maintenance inspirée de différentes études dans la littérature [Boucly, 1990], [Francastel, 2001], [Monchy, 2000] est présentée à la figure 1.3. Dans la phase de préparation, le management définit la politique générale de maintenance ce qui revient à développer un plan de maintenance en fonction d'objectifs adoptés. Il décide ensuite des moyens nécessaires pour réaliser ce plan. Dans la phase de réalisation, un système technologique est mis en place, y compris l'organisation du système de maintenance, l'ordonnancement des travaux, la logistique des ressources humaines et matérielles, la gestion de la documentation, etc.

Finalement, la phase de bilan permet de récapituler et comparer les objectifs fixés et moyens utilisés avec les résultats obtenus en analysant des indicateurs de performance. Le système de gestion opère avec un volume important de données et d'informations dissociées sur les données de base et données de fonctionnement.

I.3.1.1 Processus de maintenance

Un processus de maintenance selon [Spadoni, 2004] est « un enchaînement d'activités contrôlées ou interactives ». En collaboration étroite avec l'entreprise, nous avons modélisé par des scénarii les différentes activités d'un système de maintenance suivant les types de maintenance existants. Nous présentons ce processus de maintenance comme une suite logique et récurrente d'opérations techniques et gestionnaires, décrite à la figure 1.4, et valide pour tout type de maintenance.

Cet enchaînement d'activités sera plus détaillé dans le tableau I.1 où les quatre types de maintenance, à savoir la maintenance corrective, préventive, proactive et enfin la maintenance améliorative sont prises en compte. Les activités, autrement dit les processus opérationnels, sont décrites plus en détail ci-après [Rasovska et al. 2004a].

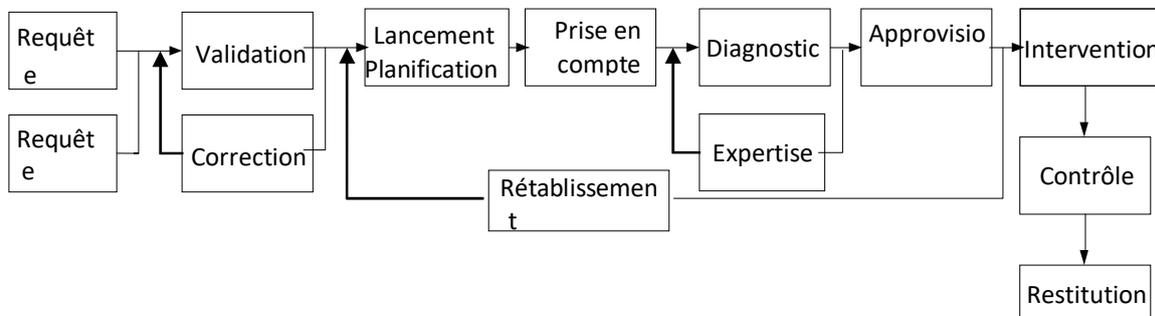


Figure I.4. Processus général de maintenance

Tableau I.1. Le processus de la maintenance selon les quatre types de maintenance

Type de	Demande	Déclenchement	Préparation	Validation	Lancement	Ordonnancement	Prise en compte	Diagnostic	Approvisionnement	Intervention	Contrôle & restitution
Corrective	Client	Requête interne Requête externe		X	X		X	X	X	X	X
Préventive	Client	Requête interne	X	X	X	X	X			X	X
Proactive	Client	Requête du capteur	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Améliorative	Client		X	X	X	X	X		X	X	X

I.3.1.2 Données du processus

Les données de base découlent un inventaire exhaustif du bien, l'identification du patrimoine à maintenir, et les performances exigées de chaque équipement. Il s'agit en particulier de la définition des installations et des équipements en termes de données technologiques, de procédé industriel et de position géographique, précisant les performances requises pour satisfaire les objectifs de production. On peut également compter parmi ces données la hiérarchisation des équipements selon différents critères, des données financières, contraintes, fournitures, prestations, etc.

Les données de fonctionnement se révèlent essentielles pour les opérations du système technologique. Il s'agit des performances réelles des différents sites, d'unités, d'équipements, des sous-ensembles, des composants, etc., de l'état des équipements et composants, du comptage des unités d'œuvre, etc.

I.3.1.3 Acteurs du processus

Nous avons classé les acteurs de maintenance du point de vue d'un utilisateur de système informatique appliqué en maintenance. Le pouvoir d'avoir la bonne information où et quand j'en ai besoin devient un atout majeur dans les processus industriels d'aujourd'hui et facilite la résolution des problèmes. Pour cela il est nécessaire d'identifier qui a besoin de quoi, quand et comment. Afin de simplifier la terminologie des acteurs du processus de maintenance souvent très caractéristique dans chaque entreprise, nous avons distingué trois classes générales, à savoir l'opérateur de maintenance, l'expert de maintenance et finalement le manager de maintenance.

L'opérateur de maintenance représente le spécialiste qui intervient directement dans la phase d'intervention sur un équipement. Dans le cas de la maintenance préventive, il s'agit de l'entretien ou de changement préventif, dans le cas de la maintenance corrective l'opérateur réalise le diagnostic et la réparation sur un équipement. L'opérateur est donc responsable de la réalisation et de la performance de l'intervention et il est chargé de la réalisation des rapports d'interventions nécessaires pour le retour d'expérience ultérieur. Il a besoin des informations concernant l'équipement comme la documentation technique, les rapports d'interventions précédentes, les données sur l'état des équipements, des mesures des systèmes de surveillance, etc.).

L'expert de maintenance fait partie de ce qu'on appelle souvent l'ingénierie de maintenance. Il intervient aussi bien dans la phase d'intervention (aide au diagnostic et à la réparation) comme étant l'expert dans un domaine spécifique que dans la phase préparatoire. Dans ce cas, il est chargé de l'analyse d'équipement et décide du choix de la stratégie de

maintenance la mieux adaptée, il planifie les interventions préventives, propose des devis afin d'améliorer le fonctionnement ou la disponibilité de l'équipement et veille sur l'accomplissement des règles et des normes concernant la sécurité de l'équipement, du personnel et de l'environnement. Des fois l'expert de maintenance participe également à la réalisation du contrat de maintenance. Il a besoin d'informations plus complexes qu'un opérateur de maintenance dont les informations concernant des indicateurs de maintenance, le contrat de la maintenance, la documentation concernant les lois, règles et normes à respecter, etc. Certains experts sont spécialisés dans l'approvisionnement et négocient les contrats avec les fournisseurs des pièces de rechange ou des outils.

Le manager n'intervient pas dans les phases techniques du processus de la maintenance mais il supervise la réalisation et fait le suivi du contrat de maintenance sur le site de production (analyse régulièrement les indicateurs du contrat de maintenance). Le manager est chargé de la préparation des offres de prestations des services de maintenance et des projets à proposer, de la négociation du contrat et il est ensuite responsable de ce contrat et du suivi des engagements envers le client. Il a besoin des informations générales concernant le parc d'équipements dans un site de production, de la documentation concernant les lois, règles et normes à respecter, des indicateurs du contrat et accès au contrat lui-même, etc. Cette classe peut comprendre différents types de managers tels que le manager du site, du projet ou du contrat, le commercial.

I.3.2. Différents systèmes informatiques en maintenance

Le terme informatique désigne littéralement, le traitement automatique de l'information par ordinateur [Wikipedia, 2005]. Le système informatique est une partie automatisée d'un système d'information. Nous conviendrons que les systèmes informatiques regroupent les applications de gestion et ses éléments d'accompagnement, les logiciels supports et le matériel. Ce qui caractérise les systèmes informatiques en maintenance, c'est que la gestion et le traitement des informations s'effectuent dans les différentes phases du processus de maintenance en faisant partie du système technologique et représentent les différentes applications de la maintenance ou de la fiabilité. Le développement des systèmes informatiques dans le domaine de la maintenance industrielle a commencé lorsque la maintenance a été reconnue comme fonction fondamentale dans l'entreprise et un accent particulier a été mis sur l'étude approfondie et le développement des procédures de cette fonction.

Informatisation des procédures de maintenance

L'informatisation et l'automatisation de la gestion des entreprises a permis d'informatiser plusieurs procédures de maintenance. Des fichiers informatiques des équipements, des interventions, des stocks, des plans et schémas etc. ont ainsi été créés. L'intégration de ces fichiers et l'automatisation des activités de la maintenance ont été possibles grâce aux progiciels de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur). Les événements quotidiens de la maintenance ont été traités : la panne, l'exécution du préventif, la gestion des stocks.

Interfaçage avec des progiciels

Par la suite, ces progiciels ont dû s'interfacer avec les autres logiciels de l'entreprise telle que les achats et la comptabilité, déjà informatisés précédemment. Les grands progiciels de gestion intégrée (PGI) correspondant au sigle ERP en anglais (Enterprise Resource Planning) représentent une étape suivante dans la rationalisation des processus de l'entreprise et dans l'intégration de la maintenance avec les autres fonctions de l'entreprise.

Evolution du domaine technique

L'informatique a aussi progressé dans le domaine technique de la maintenance. Les techniques modernes d'analyse de maintenance et de contrôle ont vu le jour parallèlement à l'informatique: analyse vibratoire, analyse d'huile, thermographie IR, ultrasons à chaud, etc. Nous pouvons distinguer parmi ces systèmes deux grands groupes : les systèmes d'analyse et les systèmes d'acquisition et de contrôle.

Les systèmes d'analyse, quelques fois couplés aux systèmes experts ont été décrits sous le sigle TTAO (travaux techniques assistés par ordinateur) ou TMAO (techniques de maintenance assistées par ordinateur). Les systèmes d'analyse sont également destinés à fournir de l'aide à la décision en diagnostic, pronostic et réparation des équipements aux opérateurs, etc.

Parmi les systèmes d'acquisition et de contrôle, nous pouvons citer SCADA¹ - système de contrôle et d'acquisition des données, contrôles-commandes des équipements, systèmes de gestion des données techniques et de la documentation, etc.

Intégration de modules intelligents en architectures de maintenance

La présence de ces différents modules intelligents de maintenance nous amène à les faire communiquer et collaborer entre eux (fig.1.5). Cette construction de modules ou briques intelligentes doit concourir à donner des indicateurs pour prendre la bonne décision en matière de stratégie et de politique de maintenance.

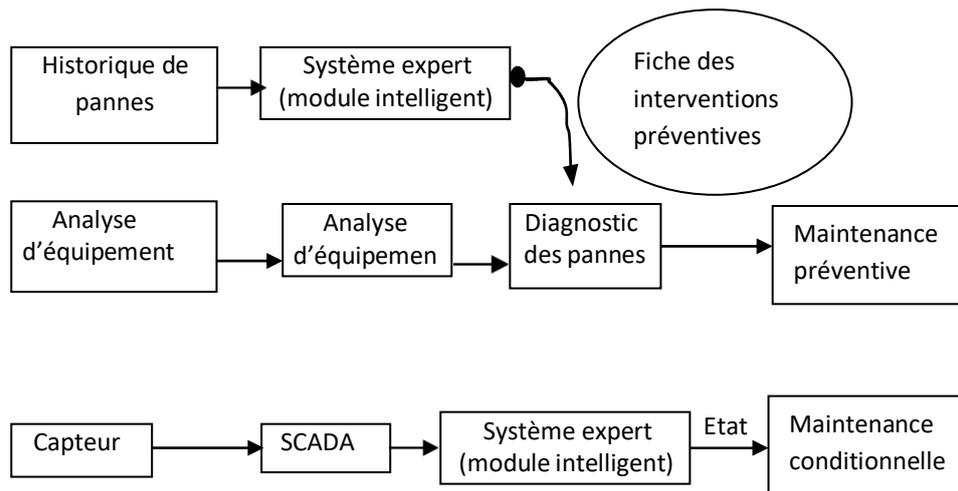


Figure I.5. Coopération des différents systèmes informatiques

Développement des NTIC

Le développement de nouvelles technologies de l'information et des communications (NTIC), l'extension d'Internet dans l'entreprise, l'intégration des applications, l'émergence de nouvelles politiques de maintenance (RCM, MCO, etc.) indiquent une nouvelle période pour l'informatisation de la maintenance, celle que certains appellent la « maintenance intelligente ». Cela nous amène vers des architectures coopératives et distribuées des systèmes de maintenance communiquant entre eux ou sur une base de réseaux. L'implémentation de ces architectures de maintenance peut se faire à l'aide de plateformes de maintenance dont l'idée majeure est de proposer un service de maintenance via internet. Les plateformes de maintenance proposées dans les projets Proteus ou OSA/CBM peuvent servir d'exemples.

I.3.3 Analyse du processus de maintenance

Nous proposons de structurer le processus de maintenance afin d'automatiser les tâches attendant à ce processus dans l'optique de fournir des modules d'aide à la décision destinés aux acteurs de maintenance. A partir de l'analyse de la fonction et du processus de maintenance.

Analyse d'équipement

Au cœur du processus de maintenance industrielle se trouve un équipement à maintenir et à réparer si nécessaire, puis un parc d'équipements à gérer. Pour cela les analyses et les études de cet équipement constitueront les briques pour gérer la maintenance du parc. Sur le terrain les experts de maintenance à partir de la documentation technique, des données des systèmes de surveillance etc. préparent les plans des interventions préventives, proposent des devis pour la maintenance améliorative permettant d'installer un capteur éventuel en vue d'une maintenance conditionnelle, créent des manuels de réparation, des gammes de

maintenance, etc. Les systèmes informatiques associés à ce bloc sont : les systèmes de surveillance, analyses automatisées comme AMDEC, arbres de défaillances, HAFOP.

Diagnostic et expertise

A partir de l'analyse d'équipement, les opérateurs de maintenance doivent pouvoir diagnostiquer pannes et défaillances et décider des actions de réparation. La panne doit être identifiée et localisée. Il faut trouver sa cause en fonction de ses symptômes, la réparer et finalement faire un rapport d'intervention en analysant la situation et sa solution. A ce niveau la documentation technique de l'équipement, les manuels de réparation contenant des procédures de réparation sont nécessaires et les systèmes d'e-documentation, des systèmes experts d'aide au diagnostic et à la réparation peuvent fournir d'aide aux opérateurs. Les deux blocs précédents couvrent la partie technique du processus de la maintenance.

Gestion des ressources

La partie managerielle de processus est représentée par la gestion des ressources et gestion des stratégies de maintenance qui utilisent les indicateurs techniques et financiers afin d'accomplir leurs objectifs. Les indicateurs viennent des rapports d'interventions fournis par les opérateurs de maintenance. La gestion des ressources humaines et matérielles et des stocks de pièces de rechange se fait en fonction du plan de la maintenance préventive et des indicateurs en question. L'objectif de la gestion des rapports d'intervention est de fournir les indicateurs techniques et financiers pour le retour d'expérience concernant le diagnostic et l'expertise sur l'équipement ainsi que pour actualisation et révision des informations précédemment acquises. Nous trouvons à ce niveau les systèmes d'aide à la décision concernant la gestion des ressources aussi bien humaines que matérielles, la gestion des stocks, la gestion du parc machines, ainsi que les documents concernant l'organisation de l'entreprise, ses processus et activités.

Gestion des stratégies de maintenance

La 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. Les gestionnaires négocient avec le client leurs demandes, préparent les contrats et sont directement responsables de la réalisation des engagements et des résultats. Ils ont besoin des données générales concernant les spécifications de contrat, la législation sur la qualité, sécurité et protection de l'environnement. Ils ont besoin également d'estimation des coûts et des indicateurs techniques et financiers pour leur évaluation et contrôle.

I.4 Différentes architectures des systèmes de maintenance

I.4.1 Historique et classification des architectures de maintenance

Le développement des systèmes informatiques dans le domaine de la maintenance industrielle a commencé lorsque la maintenance a été reconnue comme fonction fondamentale dans l'entreprise. Cette nouvelle vision sur la maintenance a impliqué l'informatisation des procédures de maintenance, et le renforcement de l'interfaçage des systèmes informatisés de maintenance avec les progiciels de gestion de l'entreprise. Par la suite, des techniques modernes d'analyse, de surveillance par capteurs et de contrôle de la maintenance ont vu le jour parallèlement à l'informatique.

Actuellement les tendances sont vers l'intégration des modules intelligents dans les architectures de maintenance, et l'exploitation du développement de nouvelles technologies de l'information et des communications (NTIC) dans le développement de ces plateformes baptisées « maintenance intelligente à distance ». Le projet européen Proteus peut servir d'exemple. On peut classer les systèmes de maintenance, 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 les applications intégrées dans ces architectures.

L'information utilisée dans le domaine de la maintenance a évolué de l'exploitation de données sur papier vers l'exploitation de l'information explicite ou tacite pour créer de nouvelles connaissances. Ces connaissances deviennent ensuite la source d'acquisition d'une compétence donnée. Aujourd'hui, à ce niveau, on peut représenter les systèmes informatiques de maintenance dans deux axes [I. Rasovska 2006] : le type d'information utilisée dans le système et l'intensité d'une éventuelle relation avec d'autres systèmes informatiques.

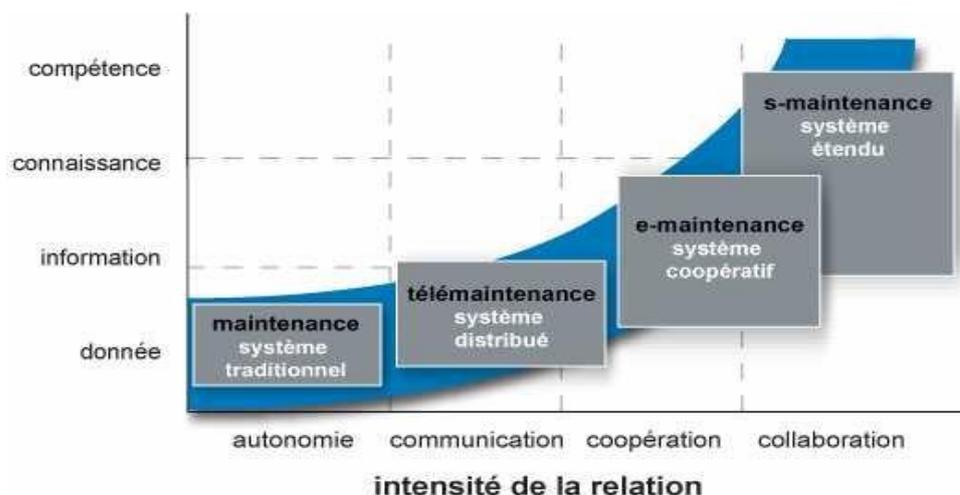


Figure I.6: Classification de différentes architectures de maintenance

I.4.2 Système de maintenance

Comprend un seul système informatique présent sur le site de production et utilisé sur le site de maintenance. Ce système est autonome et n'échange pas de données avec d'autres systèmes. En parallèle avec la classification des entreprises, cela correspond à l'entreprise traditionnelle, donc on parle d'une architecture traditionnelle d'un système d'information.

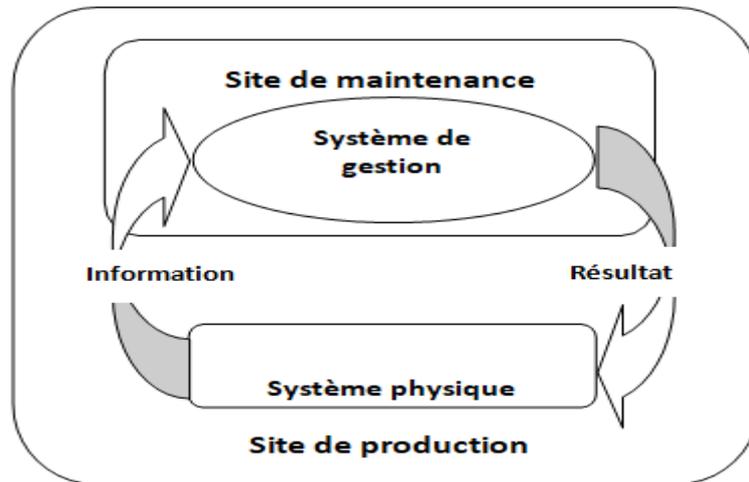


Figure I.7: Architecture d'un système de maintenance

I.4.3 Système de télémaintenance

Il est constitué d'au moins deux systèmes informatiques, un émetteur et un récepteur de données et d'informations qui échangent à distance. Selon la définition d'AFNOR la télémaintenance est « la maintenance d'un bien exécutée sans accès physique du personnel au bien ». On parle d'une architecture distribuée, basée sur la notion de distance qui permet de transférer les données par une radio, une ligne téléphonique ou par l'intermédiaire d'un réseau local.

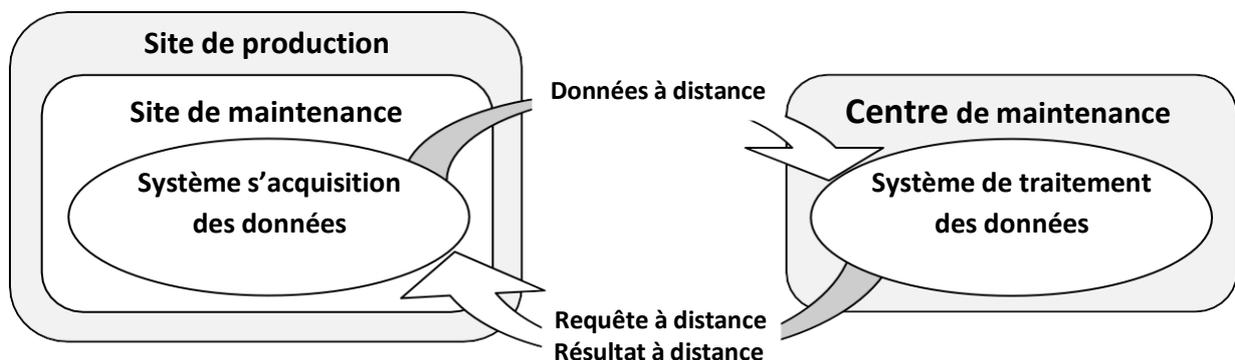


Figure I.8: Architecture télémaintenance

I.4.4 Système d'e-maintenance

Avec l'extension d'Internet, les systèmes de télémaintenance émergent vers le concept d'e-maintenance. Un système de e-maintenance sera implémenté sur une plateforme

distribuée coopérative intégrant différents systèmes et applications de maintenance. Cette plateforme, qui prend appui sur le réseau mondial d'Internet (d'où le terme e-maintenance) et la technologie web, permet d'échanger, de partager et de distribuer des données et des informations et de créer ensemble des connaissances. Ici le concept de la maintenance intelligente peut être exploité et les stratégies de maintenance proactives et coopératives sont mises en place.

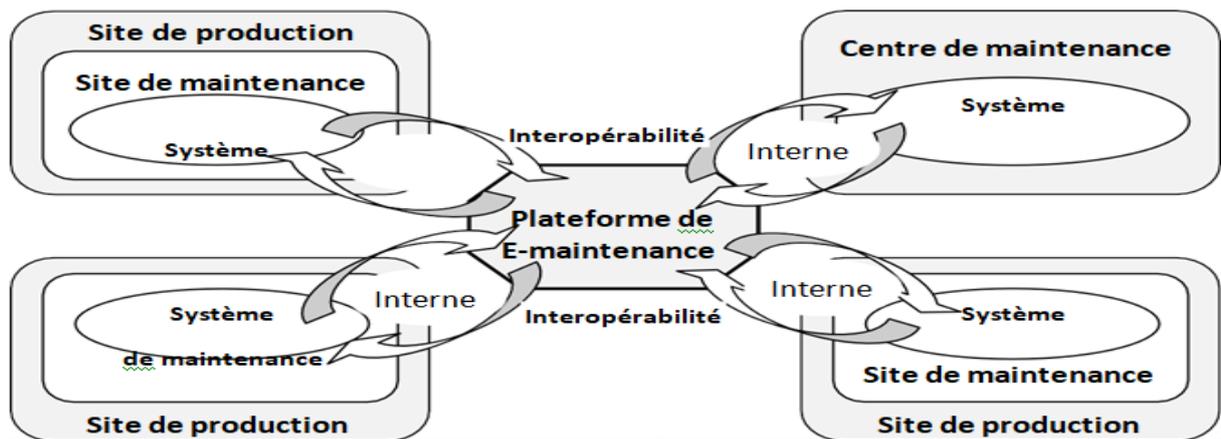


Figure I.9: Architecture du concept d'e-maintenance

I.4.5 Système s-maintenance

C'est une architecture plus performante au niveau de la communication et de l'échange des données entre les systèmes. Un système de s-maintenance (« s » signifie sémantique) prend appui sur le concept de e-maintenance par un échange d'informations basé sur le web sémantique. La sémantique de l'information échangée nécessite la création d'une ontologie de domaine commune aux différents systèmes. Elle permet d'utiliser et de créer des connaissances et des compétences, ce qui aboutit à l'utilisation des techniques de management des connaissances et permet de capitaliser des connaissances acquises. Les systèmes collaborent, ce qui suppose un effort coordonné pour résoudre ensemble les problèmes.

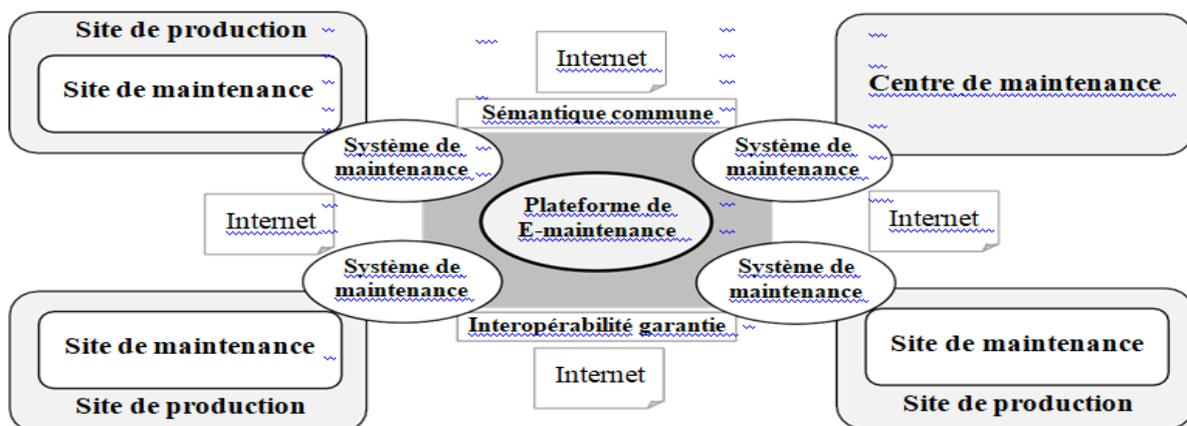


Figure I.10 : Architecture du concept de s-maintenance

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir rappelé les notions de base liées à la sûreté de fonctionnement et à la maintenance, nous avons défini ce que sont une fonction et un service de maintenance, afin de pouvoir proposer un ensemble d'e-services correspondant, via une plateforme distribuée communiquant sur le web. Pour ce faire, nous avons analysé le processus de maintenance et nous avons mis en évidence quatre champs imbriqués les uns dans les autres, qui permettent de fournir des modules d'aide aux acteurs de maintenance. Ces aides peuvent être proposées suivant différentes architectures de maintenance, allant de la maintenance à e-maintenance en passant par la télémaintenance.

Les nouvelles technologies de l'information permettent d'intégrer ces différents systèmes d'aide via des plateformes. Nous avons proposé une classification des différentes architectures en maintenance en fonction de l'intensité des relations entre les systèmes dans une architecture particulière.

Nous avons mis en évidence un type d'architecture de maintenance émergent, la s-maintenance qui prend appui sur des ontologies communes aux différents systèmes. En effet, ces ontologies sont les témoins d'une démarche de gestion des connaissances, que nous introduirons au chapitre 2 et que nous appliquerons au processus de maintenance analysé.

II.1 Introduction

Dans les dernières années, le développement impressionnant de l'Internet a renforcé l'apparition d'une énorme quantité de données disponibles sur le Web. La richesse et la croissance exponentielle de ce volume de données promet d'être une mine d'or pour les entreprises.

Cependant, cette croissance d'informations donnera lieu aussi à de vrais obstacles si les données ne sont pas bien structurées et bien représentées. Cela montre les challenges du Web du point de vue de la recherche, le partage, l'accès et la réutilisation de ces données, selon les exigences de l'utilisateur.

II.2 La gestion des connaissances dans l'entreprise

II.2.1 Donnée, Information et Connaissance

Les données sont des faits objectifs qui relatent, une valeur, souvent une mesure ou une description sans contexte. Comme des observations simples, En soi, les données n'ont aucun sens et aucune signification au-delà de leur existence (Jifa, 2013 ; Bellinger et al., 2004).

L'information est une collecte de données bien organisée et structurée qui donne du sens par des moyens de connexion relationnelle, Les informations sont des données contextuelles, pertinentes (Cooper ., 2014 ; Jifa, 2013)

La connaissance, quant à elle, tire son origine du cerveau des individus, et se construit à partir de l'information qui est transformée et enrichie par l'expérience personnelle, la connaissance est du savoir, du savoir-faire de l'expérience (Bellinger et al., 2004).

On peut Distinguer entre donnée, information et connaissance. La figure ci-dessous représente un modèle hiérarchique de la connaissance qui nous permet de faire une distinction entre donnée, information et connaissance.

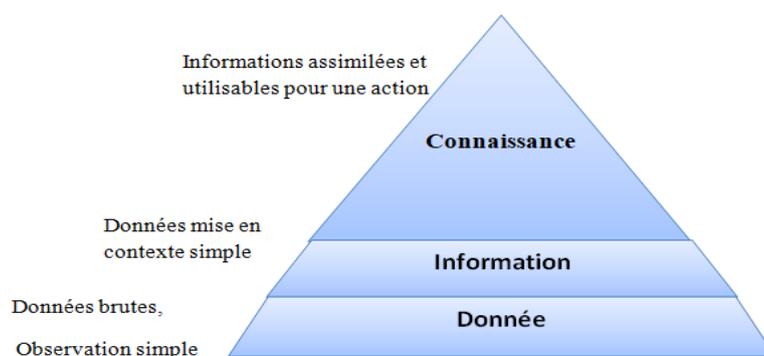


Figure II.1: Modèle hiérarchique de la connaissance et outils associés (TITAH 2021)

II.2.2 La connaissance tacite et explicite

Dans le domaine de la gestion des connaissances, qu'une grande partie des connaissances n'est pas explicite, en dit connaissances tacites. selon (Nonaka., 1991), il y a deux catégories générales de la connaissance sont les connaissances tacites et explicites.

La connaissance explicite est une connaissance transmissible (formalisables) dans un langage formel et systématique. Pour cette raison, il peut être facilement communiqué et partagé, dans des spécifications de produit ou une formule scientifique ou un programme informatique (Nonaka., 1991 ; Nonaka et Takeuchi., 2007).

La connaissance tacite (implicites, non formalisables) est un aspect personnel qui les rend difficiles à formaliser et à communiquer.(Nonaka et Takeuchi., 2007 ;) La connaissance tacite se compose en partie de compétences techniques, le type de compétences informelles, difficiles à cerner, saisies dans le terme «savoir-faire». Un maître-artisan, après des années d'expérience, développe une richesse d'expertise «au bout de ses doigts». (Nonaka et Takeuchi)

II.2.3 Le management des connaissances

De nombreuses recherches ont discuté de la question de la gestion des connaissances ou « management des connaissances ». Plusieurs définitions ont été données, nous présentons des définitions de gestion des connaissances.

La connaissance se définit dans littérature et certain ouvrages de référence comme : Selon le dictionnaire Le ROBERT 1994 « ce qui est connu, est présent à l'esprit ; ce que l'on sait pour l'avoir appris».

Selon I.Nonaka et H.Takouchi 1995 « la connaissance est du savoir, du savoir-faire, de l'expérience, voire du savoir-être.la connaissance peut être tacite ou explicite »Selon AFNOR 2002 « un ensemble de représentation, idées ou perceptions acquises par l'étude ou par l'expérience ».

La gestion des connaissances est donc une stratégie consciente visant à transmettre les bonnes connaissances aux bonnes personnes au bon moment et à aider les gens à partager et à mettre en pratique les informations de manière à améliorer les performances organisationnelles (O'Dell et Grayson, 1998). (USA, Management). (Azme et al. 2017) définit la GC comme la bonne connaissance donnée aux bonnes personnes au bon moment pour leur permettre de prendre une excellente décision.

La gestion des connaissances est passée d'un concept prématuré à une nécessité organisationnelle générale. Au fil du temps, la nature exacte du terme a évolué. Au cours de la dernière décennie, la responsabilité d'établir un sens appliqué précis du domaine est passée

des universitaires aux praticiens. Ces derniers ont massé les premières définitions académiques pour répondre aux désirs et aux besoins de leurs électeurs particuliers. Ce projet est une première tentative d'enregistrer les définitions appliquées qui ont progressé pour s'assurer qu'elles sont disponibles pour les universitaires et les praticiens (Girard, 2015) (Davenport et Prusak (1998, p. 163): la gestion des connaissances s'appuie sur les ressources existantes que votre organisation peut déjà avoir en place - une bonne gestion des systèmes d'information, une gestion du changement organisationnel et des pratiques de gestion des ressources humaines.

L'une des définitions les plus connues est celle de(Petrash ., 1996), considérant la gestion des connaissances comme fournissant les bonnes connaissances aux bonnes personnes au bon moment, afin de les réutiliser et de profiter des connaissances existantes. Dans cette définition de la gestion des connaissances, l'auteur souligne l'importance de fournir, de tirer profit et de réutiliser les connaissances. Nous considérons que ces énoncés ciblent deux étapes de la gestion des connaissances: l'identification (fournir) et la réutilisation (profit, réutilisation).

La gestion des connaissances est une gestion explicite et systématique des processus permettant d'identifier, de créer, de stocker, de partager et d'utiliser des ressources vitales de connaissances individuelles et collectives. Son expression pratique est la fusion de la gestion de l'information et de l'apprentissage organisationnel (Serrat, 2009).

La gestion des connaissances est une discipline qui favorise une approche intégrée de la création, de la capture, de l'organisation, de l'accès et de l'utilisation des actifs informationnels d'une organisation. Ces actifs comprennent des bases de données structurées, des informations textuelles telles que des documents de politique et de procédure et, surtout, les connaissances et l'expertise tacites résidant dans les chefs des employés individuels («Qu'est-ce que la gestion des connaissances?», «2012»).

La gestion des connaissances est le Transfer des connaissances tacites en connaissances explicites et leur partage au sein de l'organisation (Uriarte, 2008, p. 13).

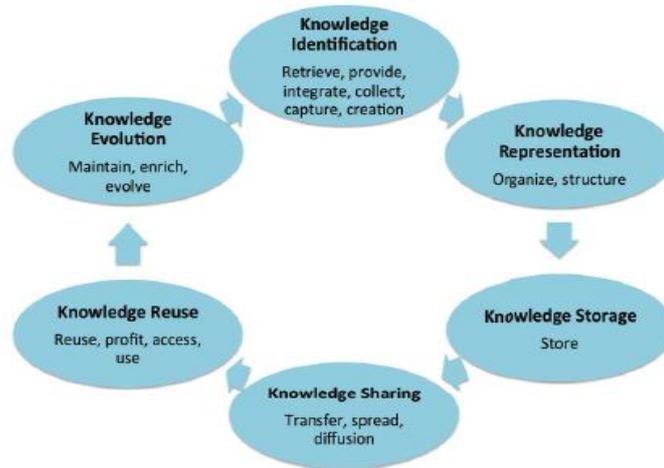


Figure II.2: Cycle de management des connaissances

En conséquence, la figure 2.2 résume les différents composants nécessaires pour garantir le cycle de gestion des connaissances efficace: Identification: c'est la collecte de connaissances à capitaliser. Représentation: structure les connaissances à capitaliser. Stockage: consiste à sauvegarder des connaissances capitalisées dans un espace de travail. Partage: fournit des solutions pour diffuser des connaissances capitalisées. Réutilisation: c'est la capacité d'appliquer des connaissances capitalisées dans un contexte donné. Evolution: c'est la capacité de maintenir des connaissances capitalisées.

II.3 Système à base de connaissance

La conception de systèmes à bases de connaissances, et notamment des systèmes experts, constitue un domaine majeur en intelligence artificielle (IA). De tels systèmes sont conçus pour approcher les performances d'experts humains dans des domaines limités en exploitant un ensemble de connaissances acquises pour l'essentiel auprès de ces experts. Le plus souvent, ce sont des auxiliaires d'aide à la décision. Apparus vers 1975, ils ont eu un impact certain sur l'IA ainsi qu'un retentissement médiatique parfois exagéré. Le terme de système expert disparaît au profit du concept plus général de système à bases de connaissances (SBC) que l'on retrouve dans divers champs d'activité.

Ce concept est fondé sur une séparation entre les connaissances nécessaires pour résoudre un problème et les mécanismes de raisonnement exploitant ces connaissances (appelés selon les cas structures de contrôle, interpréteurs, moteurs d'inférence), Cette définition, illustrée par la figure, montre la dualité connaissances/raisonnement qui vient compléter la structure algorithmique traditionnelle de l'informatique procédurale, Une caractéristique importante en pratique d'un tel système est la nature incrémentale des

connaissances mises en jeu. Cela permet une mise au point et une maintenance des systèmes par modification de connaissances (en particulier par ajout) à la base existante.

Le terme de connaissance recouvre les différentes formes du savoir qui trouvent leur justification par l'adhésion de l'utilisateur :

- Objets du monde;
- Faits concernant ces objets (« la Terre est ronde, légèrement aplatie aux pôles ») ;
- Classifications (par exemple, taxinomies en zoologie ou en géologie) ;
- Événements (« la température du four s'est mise à osciller ») ;
- Règles heuristiques de savoir-faire (« si le moteur cale à froid, le gicleur est peut-être bouché »), etc.

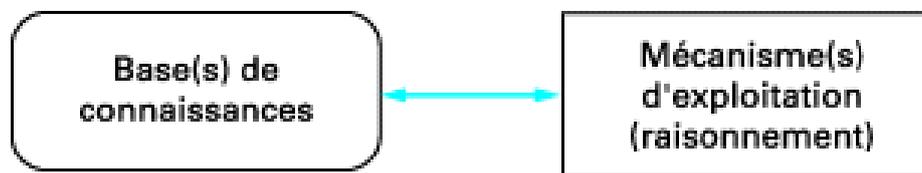


Figure II.3: Schéma simplifié d'un système à bases de connaissances

II.4 L'ingénierie des connaissances

L'ingénierie des connaissances ou Knowledge Engineering (KE), a été défini en 1983 par Edward Feigenbaum et Pamela McCorduck en tant que discipline d'ingénierie qui implique une connaissance intégrée des systèmes informatiques afin de résoudre des problèmes complexes nécessitant normalement un haut niveau d'expertise humaine (George et Karapistolis, 2014). Les systèmes basés sur la connaissance (KBS) ont évolué à partir de programmes informatiques qui automatisent partiellement la création de solutions spécifiques pour des problèmes de conception, anciennement connus sous le nom de systèmes experts, pour le développement de systèmes intégrés qui prennent en charge les décisions des concepteurs le long du cycle de vie du produit (Hunter Alarcon et al., 2010).

Dans le domaine de l'ingénierie du savoir (KE), un certain nombre d'approches et de méthodologies sont discutées dans la littérature de recherche, par exemple: KOD (Knowledge Oriented Design) par (Vogel, 1990), CBR (Razement Case-Based) par (Aamodt and Plaza, 1994) MASK (Méthodologie pour analyser et structurer les connaissances) par (Ermine, 1996). CIMOSA par (Kosanke et al. 1999). MOKA (Méthodologie et outils orientés vers les applications d'ingénierie basées sur le savoir) par (Stokes, 2001). CommonKADS (acquisition de connaissances communes et support de conception) par (Schreiber, 2002). La principale différence entre ces approches réside dans le type de projets de modélisation de la connaissance qu'ils soutiennent. CommonKADS est orienté vers des connaissances très

spécialisées pour créer des systèmes experts en utilisant des modèles spécifiques. MOKA est plus concentré sur le développement d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) (Campuzano et al. 2014). CBR est une méthode de résolution de problèmes et d'apprentissage provenant de la psychologie cognitive, qui imite le processus cognitif des êtres humains. Le processus CBR comprend principalement la récupération des cas, la réutilisation des cas, la révision des cas et les étapes de rétention des cas (Aamodt et Plaza, 1994). MASK permet de maîtriser la complexité dans les projets de gestion de la connaissance; Le KOD est basé sur une approche inductive pour explicitement le modèle conceptuel pour la facilité de l'analyse sémantique de la terminologie.

II.5 Techniques et outils de modélisation d'une Base de connaissances

Une étude a faite par (Bimba et al. 2016) dans l'objectif d'identifies tous les différents technique de modélisation et les technologies de manipulation d'une base de connaissances avec ses outils techniques et informatiques, ils ont partagé ces méthodes et techniques de modélisation en quatre catégories;

- 1) modélisation à base des systèmes experts;
- 2) modélisation à base des systèmes linguistiques;
- 3) modélisation à base des ontologies
- 4) modélisation à base des systèmes cognitives.

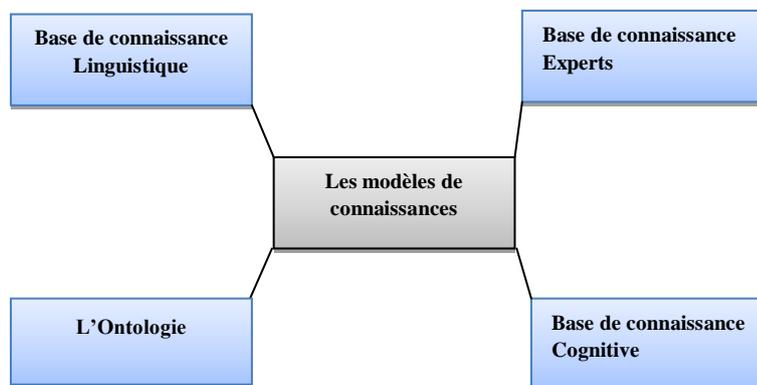


Figure II.4:Classification des modèles de connaissance et techniques manipulation.

Source: adapte de (Bimba et al. 2016)

Cette étude est axée sur les différentes catégories de technologies de modélisation d'une base de connaissances, leurs théories sous-jacentes, la technique de représentation du savoir, la technique d'acquisition de connaissances, les défis, les applications, les outils de développement et les langages de développement.

II.5.1 Les systèmes experts

Le modèle de connaissance basé sur le système expert se compose de connaissances de domaine utiles pour la résolution de problèmes. Cette connaissance est représentée comme un ensemble de règles dans la base de connaissances spécialisées. Les règles sont considérées comme une technique relativement simple pour représenter la connaissance.

Toute règle se compose de deux parties: la partie IF appelle l'antécédent et la partie THEN appelée suite. Pratiquement, une règle peut avoir plusieurs antécédents reliés par une (AND) ou une disjonction (OR) ou une combinaison des deux. L'antécédent d'une règle comprend deux parties; un objet linguistique et sa valeur. L'objet et sa valeur sont liés par un opérateur. L'opérateur identifie l'objet linguistique et attribue la valeur. Les règles peuvent représenter les relations, les recommandations, les directives, les stratégies et les heuristiques (Negnevitsky, 2005). Les bases de système experte sont classées en tant que :

- systèmes à base de règles logiques «logical rule-based System» (LRS) .
- system à base de règles floues « fuzzy rule-based System» (FRB).

➤ Les systèmes à base de règles logiques

La connaissance est représentée comme une logique binaire dans un système basé sur une règle logique (Selva, et al., 2014). Dans ce système, si l'antécédent est vrai, le résultat est également vrai (Negnevitsky, 2005). La plupart du temps, dans une LRS, les connaissances sont acquises manuellement par des experts du domaine par des entretiens, où les experts communiquent leurs connaissances en utilisant des questionnaires (Selva & Crawley, 2012).

➤ Les systèmes à base de règles floues,

Les ensembles flous sont utilisés pour représenter les connaissances dans un système basé sur les règles floues. Contrairement aux systèmes basés sur les règles, dans le système à base de fuzzy rule, si l'antécédent de la règle est vrai, alors le résultat pourrait être partiellement vrai. La logique floue est développée comme une méthode pour exprimer et appliquer la connaissance humaine sous une forme qui reflète la pensée d'un expert, qui est représentée par des termes tels que, en général, rarement, parfois, souvent et occasionnellement (Negnevitsky, 2005). L'acquisition de connaissances dans les systèmes flous peut être d'origine humaine experts ou informatisés (Zhang & Mahfouf, 2011).

II.5.2 Les systèmes linguistiques

Base linguistique est un moyen par lequel les pensées exprimées par l'homme, donc pour modéliser les processus cognitifs humains, un lexique est nécessaire. Cependant, À l'origine, les linguistes ont divisé la connaissance humaine de l'grammaire en phonologie, morphologie, syntaxe, sémantique et le lexico. Ces aspects de la grammaire qui sont dirigés

par des règles claires autorisent la linguistique computationnelle à concevoir des analyseurs, qui identifient des constituants de phrases et de phrases, en leur attribuant une structure de phrases. Mais, en raison de la grande taille du lexique. Les bases de connaissances linguistiques typiques sont des bases de données lexical telles que FrameNet, WordNet et ConceptNet.

- La base FrameNet (FN) : a été développé dans le but de construire un lexique de l'anglais qui est compréhensible par l'homme et la machine, en utilisant la théorie de la sémantique des trames et soutenue au moyen d'un capot annoté d'éléments lexicaux (Lakhfif et Laskri, 2015).
- La base ConceptNet (CN) : est une base de connaissances à grande échelle qui comprend le savoir humain et son expression sous forme de graphique et sémantique (Agarwal et al., 2015).
- La base WordNet (WN) : est une autre base de données lexicale électronique à grande échelle conçue sur la base de l'organisation sémantique humaine, où les mots et leurs significations sont liés les uns aux autres via des similitudes sémantiques et flexibles (Fellbaum et al ., 2006).

II.5.3 Les ontologies

L'ontologisme une approche de la modélisation des connaissances en terme de modélisation et une des importantes composante de la technologie sémantiques, elle est largement utiliser pour la réutilisation et le partage des connaissances dans les organisations.

Alors que les modélisation à base linguistiques représentent la connaissance par des relations lexicales et sémantiques, la modélisation à base des système experts représentent les connaissances par des règles logiques et floues, les ontologies représentent la connaissance comme taxonomie des concepts avec leurs attributs, leurs valeurs et leurs relations (Studer et al., 1998). La classification des ontologies selon (Van Heijst et al. 1997)est basé sur l'objet de la conceptualisation, ils ont classifiées les ontologies dans quatre catégories principales :

- les ontologies d'application,
- les ontologies de domaine,
- les ontologies génériques
- les ontologies de représentation

Dans cette section nous avons présenté l'ontologie comme un des techniques de modélisation d'une base de connaissances. Plus de détaille, voire chapitre 2.section2).

II.5.4 Les systèmes cognitifs

La modélisation de la base de connaissances, telles que la base de connaissances linguistiques, la base de connaissances experte et l'ontologie, sont fabriquées par l'homme plutôt que par machine.

La base de connaissances cognitives est une structure qui définit la connaissance comme un réseau de concept dynamique comme le traitement de la connaissance humaine (Wang, 2008). Le développement des systèmes cognitifs est en cour de développement. Cette modélisation est basé sur l'algèbre conceptuel.

II.6 Technologie sémantique

La naissance de la nouvelle génération du Web (i.e. le Web sémantique) est un des efforts pour pallier à ces exigences. L'idée du Web sémantique est de modéliser le contenu des ressources du Web en ajoutant de la sémantique sous forme de métadonnées en vue de rendre les ressources compréhensibles par des machines (Berners-Lee et al. 2001) Autrement dit, il s'agit de décrire ces ressources selon une représentation formelle avec une sémantique clairement définie et qui soit conçue pour une interprétation par des programmes. La base de l'infrastructure du Web sémantique s'appuie sur l'explicitation de la conceptualisation d'un domaine, partagée par une communauté et représentée dans une ontologie du domaine concerné.

L'objectif du Web sémantique est de rendre explicite le contenu sémantique des ressources dans le Web (documents, pages web, services, etc.). Les machines et les agents logiciels pourraient "comprendre" les contenus décrits dans les ressources et faciliter les tâches de traitement des informations de façon plus automatique et plus efficace.

Les recherches actuellement réalisées dans le domaine du Web Sémantique s'appuient sur un existant riche provenant de différents domaines. Le Web sémantique est non seulement appliqué dans les recherches intelligentes d'information, mais il est aussi étudié dans les recherches sur l'ingénierie des connaissances, les systèmes de représentation des connaissances, le traitement automatique de la langue naturelle, l'apprentissage, les agents intelligents, le raisonnement automatique.

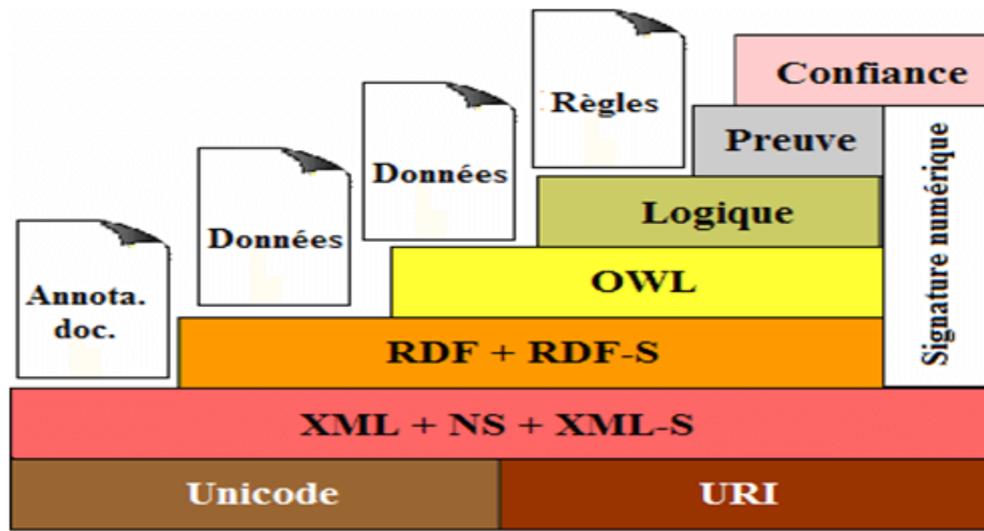


Figure II.5:Couches du Web Sémantique (Charlet & Kembellec 2016)

Autour du Web Sémantique gravite une très grande quantité de technologies, voici un schéma résumant les différentes couches et langages du Web Sémantique :

Les couches les plus bases assurent l'interopérabilité syntaxique : la notion d'URI (**Uniform Resource Identifier**) fournit un adressage standard universel permettant d'identifier les ressources tandis que Unicode est un encodage textuel universel pour échanger des symboles.

XML (Extensible Markup Language) fournit une syntaxe pour décrire la structure du document, créer et manipuler des instances des documents. Il utilise l'espace de nommage (namespace) afin d'identifier les noms des balises (tags) utilisées dans les documents XML. Le XML schéma permet de définir les vocabulaires pour des documents XML valides. Cependant, XML n'impose aucune contrainte sémantique à la signification de ces documents, l'interopérabilité syntaxique n'est pas suffisante pour qu'un logiciel puisse "comprendre" le contenu des données et les manipuler d'une manière significative.

Les couches **RDF (Resource Description Framework)** et RDF Schéma Sont considérées comme les premières fondations de l'interopérabilité sémantique. Elles permettent de décrire les taxonomies des concepts et des propriétés RDF fournit un moyen d'insérer de la sémantique dans un document, l'information est conservée principalement sous forme de déclarations RDF. Le RDF schéma décrit les hiérarchies des concepts et des relations entre les concepts, les propriétés et les restrictions domaine/co-domaine pour les propriétés.

La couche suivante **OWL (Web Ontology Language)** est un langage de représentation des connaissances construit sur le modèle de données de RDF. Il fournit les moyens pour définir des ontologies web structurées. Il décrit des sources d'information hétérogènes, distribuées et semi- structurées en définissant le consensus du domaine commun et partagé par plusieurs personnes et communautés.

Les règles sont aussi un élément clé de la vision du Web sémantique, la couche Règles offre la possibilité et les moyens de l'intégration, de la dérivation, et de la transformation de données provenant de sources multiples, etc.

La couche **Logique** se trouve au-dessus de la couche OWL. Certains considèrent ces deux couches comme étant au même niveau, comme des ontologies basées sur la logique et permettant des axiomes logiques. En appliquant la déduction logique, on peut inférer de nouvelles connaissances à partir d'une information explicitement représentée.

Les couches **Preuve (Proof)** et Confiance (Trust) sont les couches restantes qui fournissent la capacité de vérification des déclarations effectuées dans le Web Sémantique. On s'oriente vers un environnement du Web sémantique fiable et sécurisé dans lequel nous pouvons effectuer des tâches complexes en sûreté.

II.7 Partage des connaissances par les ontologies

II.7.1 Notion d'ontologie

Une ontologie est « **une spécification explicite d'une conceptualisation** » (Gruber 1995). Le terme « conceptualisation », dans la définition, fait référence à un système de concepts, autrement dit à un ensemble structuré de concepts. L'expression « spécification explicite » signifie, pour sa part, que la conceptualisation est représentée dans un langage. Ce langage peut être une langue naturelle (ex : français, anglais) ou un langage formel (ex : logique du 1er ordre, réseau sémantique).

II.7.2 Composants d'ontologie

Les modèles d'ontologies sont basées sur cinq sortes de composants principaux : 1. Les classes, 2. Les propriétés, 3. Les types de valeurs, 4. Les axiomes, 5. Les instances. 6. les relations (Dehainsala 2007).

Les classes

Une classe est la description abstraite d'un ou plusieurs objets semblables. Une classe correspond à ce qui a une existence propre, matérielle ou immatérielle, dans le domaine étudié du monde réel. Les classes sont toujours organisées en graphe acyclique à l'aide de relations de subsomption. Une classe possède toujours un identifiant. Sa définition comporte toujours une partie textuelle, qui permet de la rattacher à une connaissance préexistante de l'utilisateur,

et une partie formelle constituée de relations avec d'autres composants de l'ontologie. Par exemple, les concepts *Personne* et *Doctorant* représentent des classes différentes des objets humains en réalité dans lesquelles *Personne* est un super-concept de *Doctorant*, le concept *Manuscrit* décrit une classe des objets du type de document.

Les propriétés

Les propriétés sont des éléments qui permettent de caractériser et de distinguer les instances d'une classe. Comme les classes, les propriétés possèdent toujours un identifiant et une définition comportant une partie textuelles et une partie formelle. Les propriétés peuvent être fortement typées, i.e., associées un domaine et un Co domaine précis qui permettent respectivement de spécifier les classes susceptibles d'initialiser une propriété et de contraindre les domaines de valeurs des propriétés.

Une propriété peut prendre ses valeurs soit dans des types simples, soit dans des classes. Le terme propriété regroupe donc les notions parfois distinguées (par exemple dans le modèle entité-association) d'attribut et d'association. Dans l'exemple ci-dessus, une propriété *rédigier* peut indiquer une relation entre les concepts *Doctorant* et *Manuscrit* dans laquelle *Doctorant* est le domaine et *Manuscrit* est le Co-domaine de la propriété *rédigier*.

Les différents langages de définition des ontologies permettent d'exprimer des caractéristiques spécifiques sur les propriétés. Par exemple, OWL permet d'exprimer des caractéristiques algébriques (symétrique, transitive, etc.).

Les types de valeurs

Les types de valeurs définissent des ensembles de valeurs dans lesquels les propriétés doivent prendre leurs valeurs, ainsi le cas échéant, que les opérations pouvant porter sur ces valeurs. Les types autorisés incluent toujours (1) des types simples (en particulier : entier, réel, caractère, booléen, etc.), (2) les classes (de telles propriétés représentent alors des associations) et (3) des collections, en général associées à des cardinalités minimum et maximum.

Les axiomes

Les axiomes sont des prédicats qui s'appliquent sur les classes ou les instances des classes de l'ontologie et qui permettent de restreindre les interprétations possibles d'une ontologie et/ou de déduire de nouveaux faits à partir des faits connus.

Pratiquement tous les langages permettent d'exprimer des axiomes de type (pour des instances, des valeurs ou des liens), de subsomption et de cardinalité. Les autres axiomes exprimables dépendent de chaque modèle particulier d'ontologie et des prédicats particuliers

définis au niveau du langage. Par exemple, OWL permet de contraindre une propriété à avoir une valeur dans une certaine classe (SOME).

Les instances

Les instances ou objets ou individus représentent des éléments spécifiques d'une classe. Chaque instance est caractérisée par son appartenance à une (ou éventuellement plusieurs) classes(s) et par des valeurs de propriétés. Selon les langages, les instances peuvent, ou non, être associées à un identifiant unique qui permet de distinguer une instance à une autre.

C'est l'hypothèse d'unicité de nom (Unique Name Assumption UNA) faite par certains langages (OWL Flight) et non par d'autres (OWL). Il est possible dans certains langages de définition d'ontologie qu'une instance appartienne à plusieurs classes en même temps. C'est la notion de multi- instanciation. Par exemple, l'instance "LEHIRECHE" est du type concept Doctorant, "ISEDAW" est une instance du concept Equipe Recherche, etc.

Les relations

Représentent des liens sémantiques de la connaissance du domaine. Une relation peut être distinguée comme une propriété ou un attribut. Les relations décrivent des interactions entre concepts.

II.7.3 Classification d'ontologies

Les ontologies sont classées sur différents niveaux, selon le but pour lequel elles sont conçues, nous pouvons distinguer : (Guarino *et al.* 2009).

Ontologies de domaine : les plus connues, elles expriment des conceptualisations spécifiques à un domaine, elles sont réutilisables pour des applications sur ce domaine.

Ontologies d'application : elles contiennent des connaissances du domaine nécessaires à une application donnée ; elles sont spécifiques et non réutilisables.

Ontologies génériques : appelées aussi ontologies de haut niveau, elles expriment des conceptualisations très générales tels que le temps, l'espace, l'état, le processus, les composants, elles sont valables dans différents domaines ; les concepts figurant dans une ontologie du domaine sont subsumés par les concepts d'une ontologie générique, la frontière entre les deux étant floue.

Ontologies de représentation ou méta-ontologies : indiquent des formalismes de représentation de la connaissance ; les ontologies génériques ou du domaine peuvent être écrites en utilisant des primitives d'une telle ontologie.

II.7.4 Ingénierie des ontologies

Il existe plusieurs outils pour développer et maintenir des ontologies. Nous introduisons par la suite certains de ces outils qui sont largement utilisés par la communauté des ontologistes.

Protégé 3 est un outil d'édition de l'ontologie développé à l'Université de Stanford, qui est utilisé largement aujourd'hui pour élaborer des ontologies en RDF(S) et OWL. Protégé fournit un environnement de développement graphique et interactif pour aider les ingénieurs et les experts du domaine à réaliser des tâches plus facilement. Le modèle de connaissances de Protégé est compatible avec l'OKBC (Open Knowledge Base Connectivity). Un des avantages de Protégé est son architecture ouverte et modulaire, il facilite le développement de nouvelles fonctionnalités à travers des plugins pour effectuer des opérations différentes.

NeOn Toolkit 4 est un éditeur d'ontologie initialement développé dans le cadre du projet NeOn et maintenant pris en charge, avec d'autres technologies de NeOn, par la Fondation NeOn.

NeOn Toolkit est un environnement d'ingénierie d'ontologie multi-plateforme open source à la pointe de la technologie, qui fournit une prise en charge complète du cycle de vie de l'ingénierie d'ontologie. L'outil est basé sur la plate-forme Eclipse, et fournit un ensemble complet de plug-ins (actuellement 45 plug-ins sont disponibles) couvrant une variété d'activités d'ingénierie d'ontologie, y compris l'annotation et la documentation, le développement, acquisition de connaissances, gestion, modularisation et personnalisation.

II.7.5 Ontologies et raisonnement

L'utilisation efficace des ontologies nécessite non seulement un langage bien conçu, mais également un raisonnement logique rigoureux. Par conséquent, construits sur des langages et des théories logiques de description bien définis, les bases de connaissances ontologiques sont dotées d'un formalisme terminologique, appelé «T-Box», et d'un formalisme assertionnel, «A-Box» (Brockman et al. 2006). Pour les ontologies informatiques dans les systèmes d'information, les ontologies signifient deux choses liées (Chandrasekaran et al. 1999): un vocabulaire de représentation (T-box), qui fournit un ensemble de termes permettant de décrire les faits dans un domaine donné; et un ensemble de connaissances (A-box), c'est-à-dire le fait associer à un modèle conceptuel ou à des ontologies au sein d'une base de connaissances. Le raisonnement ontologique réduit la redondance des informations dans la base de connaissances et permet de résoudre les conflits de contenu des connaissances.

«Un raisonneur sémantique, un moteur de raisonnement, un moteur de règles, ou simplement un raisonneur, est un logiciel capable d'inférer des conséquences logiques à partir d'un ensemble de faits ou d'axiomes affirmés».

Tableau II.1: Les différents raisonneurs d'une ontologie

Le raisonneur d'ontologie	Description
Pellet	Pellet est un raisonneur OWL-DL open source développé par le groupe « Mind Swap » Il est basé sur l'algorithme de tableau et supporte les logiques de description expressives. Pellet prend en charge les profils OWL 2. Il raisonne les ontologies à travers Jena ainsi que les interfaces OWL-API (Sirin et al.2007).
Racer	Le raisonneur RACER (renommé ABoxes et Concept Expression Reasoner). RACER, également connu sous le nom de RacerPro est le premier raisonneur OWL. RACER implémente TBox et ABox reasoner pour la logique SHIQ. Ce raisonneur est développé par (Horrocks et al. 2011). www.franz.com/agraph/cresources/white_papers .
FaCT++	FaCT++ est un classificateur de logique de description et pour le test de satisfiabilité de la logique modale. Le système FaCT possède un algorithme de tableaux complet pour les logiques de description expressives. Ce raisonneur utilise le même algorithme que dans FaCT, mais avec une structure interne différente. Il est implémenté en C ++. FaCT ++ implémente une procédure de décision basée sur les tableaux (Semere ,2007). http://www.cs.man.ac.uk/~sattler/reasoners.html
Hermit	Hermit est le premier raisonneur OWL accessible au public. Il est écrit en utilisant OWL. Hermit peut vérifier les fichiers OWL pour déterminer la cohérence des ontologies et identifier les relations hiérarchiques entre les classes. Ce raisonneur est basé sur l'hyper tableau calculs. Il fournit également le processus plus rapide de classification des ontologies. http://hermit-reasoner.com/ .
Snorocket	Snorocket a été développé dans le cadre du programme de recherche sur l'informatique de santé et la terminologie clinique du CSIRO, Il est implémenté en Java (Lawley and Bousquet 2010). http://research.ict.csiro.au/software/snorocket .

II.7.6 Formalisme d'ontologies

Les ontologies peuvent être représentées sous différentes formes en fonction du niveau d'abstraction ou du degré de formalité. Ils peuvent être exprimés sous forme d'ensembles d'énoncés déclaratifs dans les langues naturelles. Cependant, il est impossible pour les ordinateurs de traiter des déclarations en langage naturel. Pour des représentations plus formelles, le langage d'ontologie Web (OWL) est largement utilisé dans la pratique, appuyé par des outils de modélisation ontologique, tels que Protégé (Musen, 2015). Des ontologies bien structurées et bien développées permettent différents types d'examen de cohérence logique et améliorent également l'interopérabilité entre différentes applications. Plusieurs langages d'ontologie, également appelés formalismes ontologiques ou formalismes de représentation des connaissances, sont aujourd'hui disponibles pour construire des ontologies. Le tableau II.2 présente différents langages de développement d'une ontologie.

Tableau II.2: Les différents langages des développements d'une ontologie

Langage de développement d'ontologie	de	description
OWL		OWL le langage de l'ontologie web est un langage de balisage permettant de développer des ontologies pour le web sémantique, développé par W3C.
XML		XML fournit la syntaxe de la pile de langages sémantiques Web.
RDF, RDF Schema, RDF(S)		la structure de description de ressource est utilisée pour la modélisation des informations à déployer en tant que ressource Web.
UML		UML est une notation graphique orientée objet pour modéliser l'information
F-Logic		la logique de trame est une approche orientée objet de FOL

	utilisée pour les bases de données déductives et orientées objet
OCML	OCML le langage de modélisation conceptuel opérationnel est un langage qui prend en charge la définition des axiomes du 1er et 2ème ordre.
KIF	KIF format d'échange de connaissances fournit une syntaxe pour laquelle on peut comprendre par ordinateur
CL	CL La logique commune est décrite comme un cadre pour une famille de langage basée sur la logique.
CGIF	CGIF format d'échange de graphes conceptuels est un dialecte de CL utilisé pour représenter des graphes conceptuels.
CLIF	CLIF Le format d'échange de logique courant est la syntaxe de type KIF utilisée dans CL
KFL	KFL le langage du cadre de connaissances est basé sur une implémentation étendue de CLIF appelée ECLIF

II.7.7 Outils d'ontologie

Divers outils de développement d'ontologies. Un résumé sur les outils existants de développement d'ontologies est présenté dans le tableau II.4, Protégé est l'outil utilisé dans cette thèse, on est discuté en détail.

Tableau II.3: Les différents outils de développement d'une ontologie

Outils d'ontologie	Description/ Développeur
Protégé	Protégé est l'outil de développement d'ontologies le plus utilisé. il supporte les langages de développement d'ontologies tels que RDF et OWL. il a une interface personnalisable. Il possède également une architecture de

	<p>plug-in puissante qui permet l'intégration avec d'autres applications. Cet outil est développé pour les ontologies et les bases de connaissances biomédicales soutenues par l'Institut national des sciences de la médecine générale. https://protege.stanford.edu/</p>
OntoEdit	<p>OntoEdit est un éditeur d'ontologies graphique qui intègre de nombreux aspects de l'ingénierie ontologique, et un utilisateur de l'infrastructure de gestion d'ontologies KAON. Il est basé sur la méthodologie commoKADS.</p>
Ontolingua	<p>Ontolingua est un environnement collaboratif distribué pour, créer, éditer, modifier et utiliser des ontologies. il est basé sur le langage KIF. Il peut transférer vers DL. il n'a pas de moteur d'inférence. Cet outil est développé par laboratoire de système de connaissance, université de Sandford http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/</p>
IODE	<p>IODE - Environnement de développement d'ontologies intégrées</p> <p>Avec le logiciel IODE d'Ontology Works, les utilisateurs développent des modèles de domaine (ontologies) robustes, flexibles et extensibles en fournissant:- Une logique expressive puissante dans laquelle encoder l'ontologie de la matière, quelle que soit la complexité de votre domaine. - Validation du modèle en développement pour assurer la cohérence logique interne, c'est le seul outil commercial, de développement d'ontologie, il est développé par le groupe http://www.ontologyworks.com/products/iode</p>

Protégé est l'outil le plus utilisé dans le développement des ontologies. Il est populairement utilisé en raison de son environnement de développement, il peut exporter dans une variété de formats tels que RDF, RDFS, OWL et XML shema. protégé est l'outil de

développement d'ontologies le plus utilisé. il supporte les langages de développement d'ontologies tels que RDF et OWL.

Il a une interface personnalisable. il possède également une puissante architecture plug-in qui permet l'intégration avec d'autres applications (Protégé est une ressource nationale pour les ontologies et les bases de connaissances biomédicales soutenues par l'Institut national des sciences de la médecine générale).

Un éditeur d'ontologie libre et à source ouverte et une plateforme pour la construction de systèmes intelligents. Protégé s'appuie sur une solide communauté d'utilisateurs issus des universités, des gouvernements et des entreprises, qui utilisent Protégé pour créer des solutions basées sur la connaissance dans des domaines aussi divers que la biomédecine, le commerce électronique et la modélisation organisationnelle.

L'architecture de plug-in de Protégé peut être adaptée pour créer des applications à base d'ontologies simples et complexes. Les développeurs peuvent intégrer la sortie de Protégé à des systèmes de règles ou à d'autres solutions du problème afin de construire un large éventail de systèmes intelligents. Plus important encore, l'équipe de Stanford et la vaste communauté du Protégé sont là pour vous aider.

Protégé est basé sur Java, est extensible et fournit un environnement plug-and-play qui en fait une base flexible pour le prototypage rapide et le développement d'applications.

II.8 Interrogation de l'ontologie

II.8.1 Requêtes SQWRL

SQWRL « Semantic Query-Enhanced Web Rule Language » est un langage de requête basé sur le langage SWRL pour les ontologies faites en OWL (O'Connor & Das, 2009). SQWRL est construit sur le langage de règles SWRL, SQWRL prend un antécédent de règle SWRL standard et le traite efficacement comme une spécification de modèle. Il fournit un ensemble de fonctions semblable à du « Sql » pour extraire des connaissances d'une ontologie en OWL, SQWRL utilise la fonction intégrée de SWRL comme point d'extension. à l'aide de fonctions intégrées, il définit un ensemble d'opérateurs pouvant être utilisés pour construire des spécifications de récupération. l'attrait de cette approche est qu'aucune extension syntaxique n'est requise pour SWRL. Ainsi, les éditeurs SWRL existants peuvent être utilisés pour générer et éditer des requêtes SQWRL. En outre, des mécanismes de sérialisation SWRL standard peuvent être utilisés afin que les requêtes puissent être stockées dans des ontologies OWL. Ces requêtes peuvent être écrites via la SWRLTab de PROTÉGÉ. Le langage SQWRL définit quatre types de requêtes : sqwrl:select, sqwrl:count, sqwrl:orderBy, sqwrl:columnNames.

II.8.2 Requêtes SPARQL

Le langage SPARQL (Simple Protocol And RDF Query Language) est une recommandation W3C largement utilisée pour l'interrogation des données en langage RDF (Arias., et al 2011), SPARQL c'est Un langage de requête pour RDF, tout comme les données RDF, il est basé sur la notion de graphes de triplets et ils peuvent aussi être représentées par des graphes, les requêtes sont décrites par des motifs (patterns) et des variables. Le langage SPARQL définit quatre types de requêtes :

— ASK : pour tester si un modèle de requête a une solution. Aucune information n'est renvoyée sur les solutions de requête possibles, que la solution existe ou pas et renvoie un booléen, vrai ou faux.

— DESCRIBE : Le modèle de requête est utilisé pour créer un jeu de résultats. Le formulaire DESCRIBE prend chacune des ressources identifiées dans une solution, il retourne des informations sur les résultats de la requête, ainsi que toutes les ressources directement nommées par IRI, et assemble un seul graphique RDF en prenant une "description" qui peut provenir de toute information disponible, y compris le jeu de données RDF cible. La syntaxe DESCRIBE est une abréviation qui décrit toutes les variables d'une requête.

— CONSTRUCT : Le formulaire de requête CONSTRUCT renvoie un seul graphique RDF spécifié par un modèle de graphique. Le résultat est un graphique RDF formé en prenant chaque solution de requête dans la séquence de solutions, en remplaçant les variables dans le modèle de graphique et en combinant les triplets en un seul graphique RDF par union définie. La structure du graphe résultat est décrite par un patron dans la requête

— SELECT : le modèle de requête SELECT permet d'extraire des informations qui vérifient les contraintes spécifiées dans la requête. La syntaxe SELECT est une abréviation qui sélectionne toutes les variables d'une requête.

II.9 Conclusion

Le Web sémantique est considéré comme un espace d'informations utilisées non seulement pour des échanges entre personnes humaines, mais aussi entre des machines ayant vocation à faciliter la communication entre les personnes et offrant la possibilité de traitements automatiques puissants. C'est en traitant certaines informations extraites que les moteurs de recherche pourront améliorer la pertinence des réponses aux requêtes des lecteurs. L'efficacité de ces traitements repose en partie sur les modèles d'organisation de la connaissance qui sont proposés par les ontologies. L'apport sémantique des ontologies est dans le contexte qu'elles expriment. Néanmoins, dans la mesure où elles sont utilisées directement ou indirectement par des êtres humains (indexation, recherche d'information), leur interprétation n'est pas purement formelle.

Les recherches dans le domaine du Web sémantique et des services Web convergent actuellement vers un nouveau concept : les « services Web sémantiques » qui devraient conduire au développement d'ontologies des services.

III.1 Introduction

Le réseau sémantique est constitué d'un ensemble de nœuds reliés par un ensemble d'arcs. En général, les nœuds représentent des objets et les arcs représentent les relations binaires entre ces objets. Cependant, les nœuds peuvent également être utilisés pour représenter des prédicats, des classes.

Le réseau sémantique a été utilisé comme moyen de représenter les connaissances tacites impliquées dans le processus, ainsi qu'un L'objectif du réseau sémantique est de représenter les connaissances d'une manière systématique pour mieux aider à l'élaboration des règles de maintenance.

Après le développement des réseaux sémantiques, la représentation des connaissances, à travers des règles de maintenance, est très facile pour encoder les connaissances. Un système expert, basé sur des règles, se caractérise par: l'intégration de connaissances heuristiques dans les règles IF – THEN; combiner des règles simples pour résoudre des problèmes complexes et pouvoir expliquer toute conclusion à partir du raisonnement appliqué par le système.

III.2 Développement d'un SBC pour la maintenance des équipements industriels

Une BC est typique de la modélisation des connaissances; elle contient les instances sur lesquelles le raisonnement devra s'effectuer. La séparation du schéma du domaine et de la base de connaissances implique que l'acquisition de connaissances se fait en deux étapes. La première consiste à définir les types de connaissances et la deuxième à obtenir les instances de ces connaissances. Une BC contient les instanciations des relations et de type de règle.

Phase d'externalisation des connaissances

La phase d'externalisation des connaissances combine deux méthodologies, la première est la méthodologie commonKADS comme une technique d'acquisition des connaissances et la deuxième la méthodologie MACTAK comme technique d'élicitations des connaissances. Pour l'identification de la tâche, nous appliquons la méthodologie CommonKADS pour développer les modèles d'organisation, de la tâche et d'agent.

Phase de modélisation des connaissances

Il utilise deux catégories différentes de modélisation des connaissances; la combinaison entre la base de connaissances d'experts et l'ontologie. Il a un modèle logique présenté par des systèmes logiques basés sur des règles et des techniques d'ontologie par relation concept-attribut, la connaissance de la modélisation est indépendante des outils d'implémentation.

Après la phase d'externalisation des connaissances tacites en connaissances explicites, la modélisation est la deuxième phase dans notre modèle proposé, il existe trois catégories dans le modèle de connaissance de la méthodologie CommonKADS, la connaissance de la tâche, la connaissance de domaine et la connaissance d'inférence. Nous avons deux types de modélisation des connaissances différents.

- Une modélisation logique à base de connaissances d'experts pour la connaissance d'inférence
- Une modélisation par une ontologie de représentation pour la connaissance de la tâche et la connaissance de domaine.

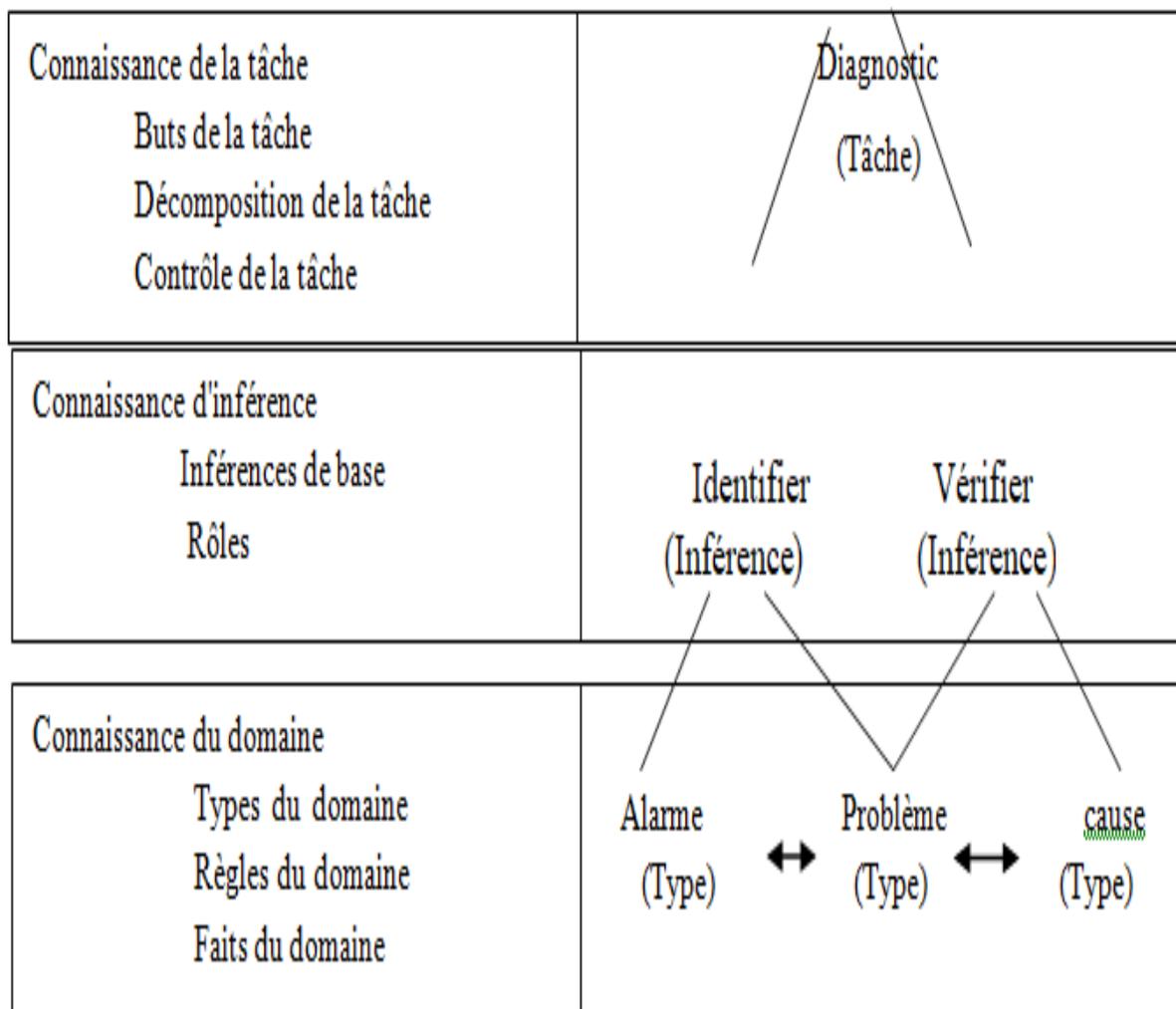


Figure III.1:.. Les catégories de connaissance dans un modèle de connaissances

III.3 Formalisation de la connaissance du domaine par l'ontologie MASSON

Le langage d'ontologie Web (OWL) est conçu pour représenter des connaissances variées sur les objets et leurs relations. Il est largement utilisé pour exprimer des modèles

complexes et des informations d'adresse. Tels que les systèmes de fabrication complexes. Avec l'aide d'OWL, les agents de fabrication sont en mesure de capitaliser sur les connaissances en matière de fabrication et sont faciles à réutiliser et à partager pour résoudre des problèmes de fabrication. Faciliter également la communication entre experts et agents industriels ayant des terminologies communes, un exemple des connaissances du domaine en langage OWL.

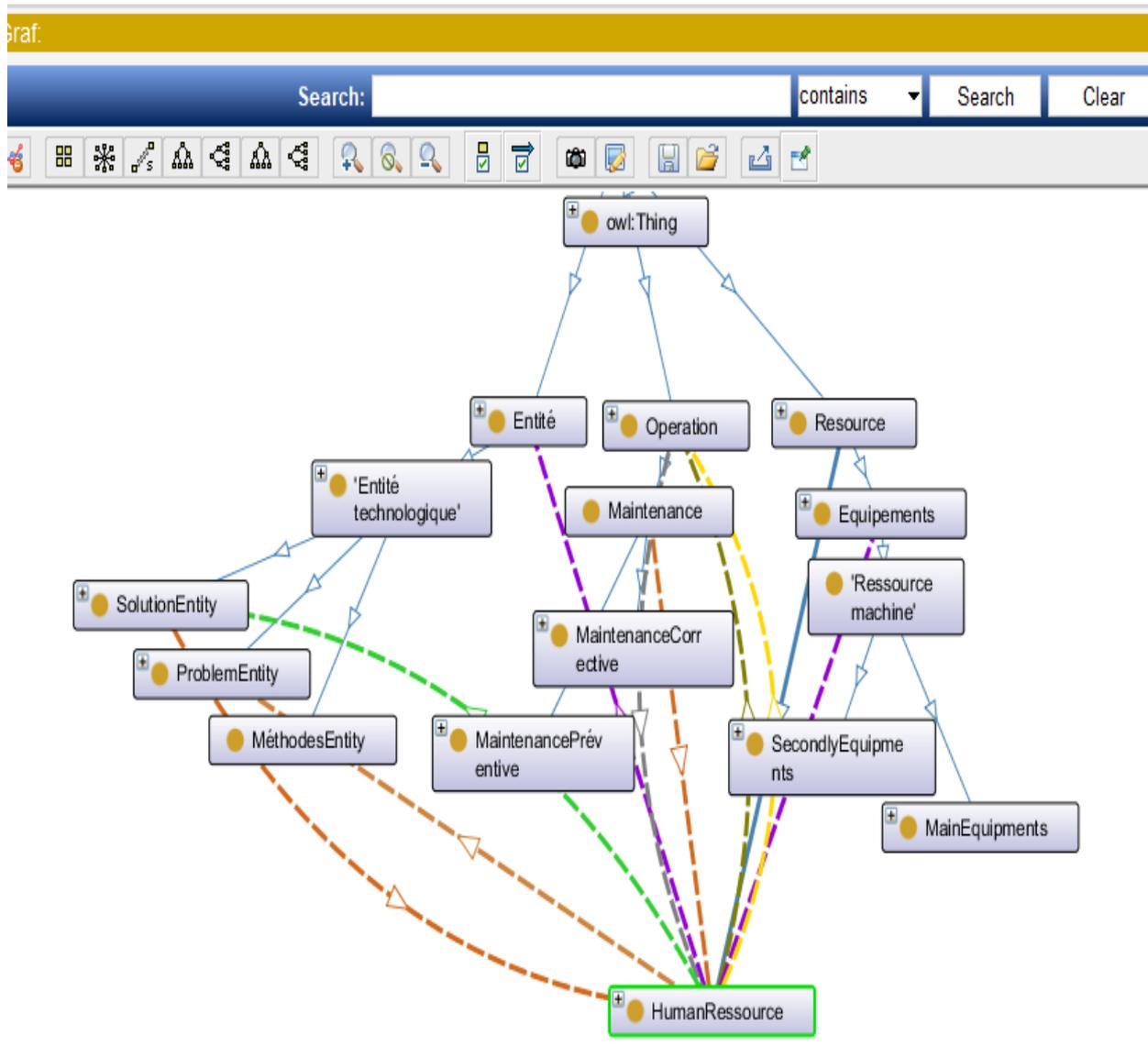


Figure III.2: Concept de fabrication

III.3.1 Concept de « *Entities* »

La classe « *Entities* » a été reprise des concepts MASSON (Manufacturing's Semantics Ontology) . Les processus de *Entities* sont les étapes et les méthodes par lesquelles les intrants sont transformés en extrants afin de produire un produit final. Le processus *Entities*

affecte de nombreuses tâches; cela, la conception, la production, la planification, la qualité, la surveillance, etc. Le processus comporte des caractéristiques.

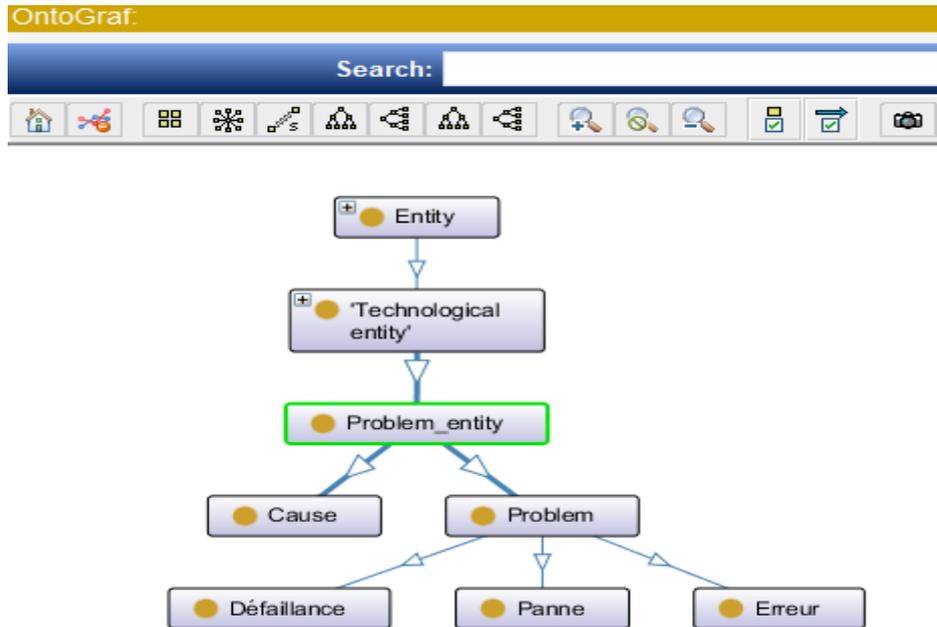


Figure III.3: Concept de "Entities"

- **Concept de processus manufacturière « ManufacturingProblem/Solution»**

Les ontologies de fabrication existantes ne considèrent pas l'aspect résolution de problèmes dans leurs ontologies, dans le fait; nous avons ajouté deux concepts « ManufacturingProblem » et « ManufacturingSolution » afin de faciliter la résolution du problème de fabrication lors de l'exécution de la tâche de fabrication. La tâche de fabrication pose de nombreux problèmes de fabrication. Notre contribution principale pour l'ajout du concept « ManufacturingProblem » facilite la description du problème.

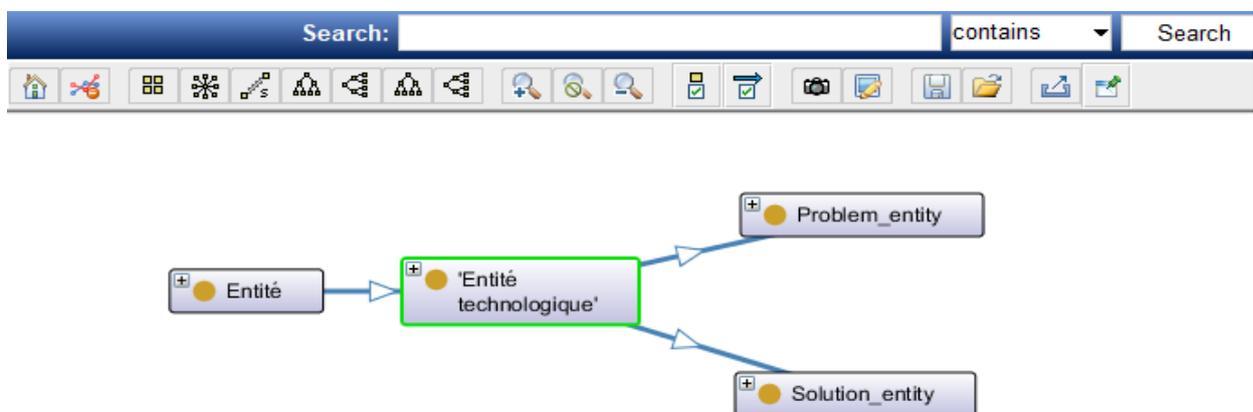


Figure III.4: Concept "Entities" (problème solution)

III.3.2 Concept d' « Operations »

La classe « Operations » a été reprise des concepts «*manufacturing- operation*» de (Lin et al.2011) et «*Operation class*» de (Lemaingnan et al.2006). Dans les domaines de maintenance, le besoin de partage de connaissances lors de l'exécution d'une tâche pour exécuter une tâche. Par contre, certaines tâches nécessitent un partage de connaissances en hauteur à partir d'une autre tâche pour son exécution. La description de concept «*Operations* » et leurs classes hiérarchies est représentée dans la figure 3.5.

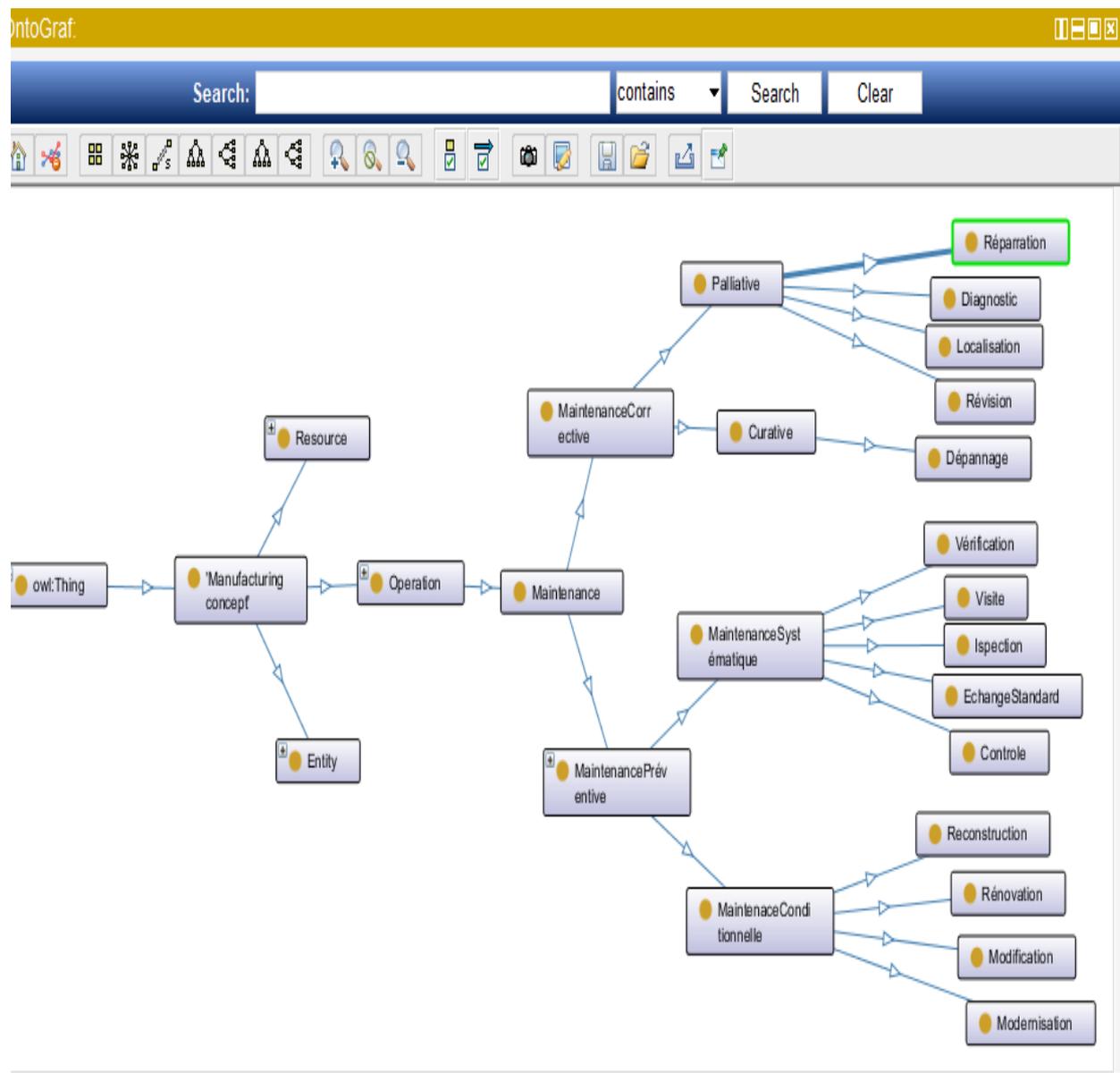


Figure III.5: Concept d' Operations

III.3.3 Concept d' « Resources »

Le concept « Resources » en générale englobe tous ce que on a comme équipements ou ressources humains.

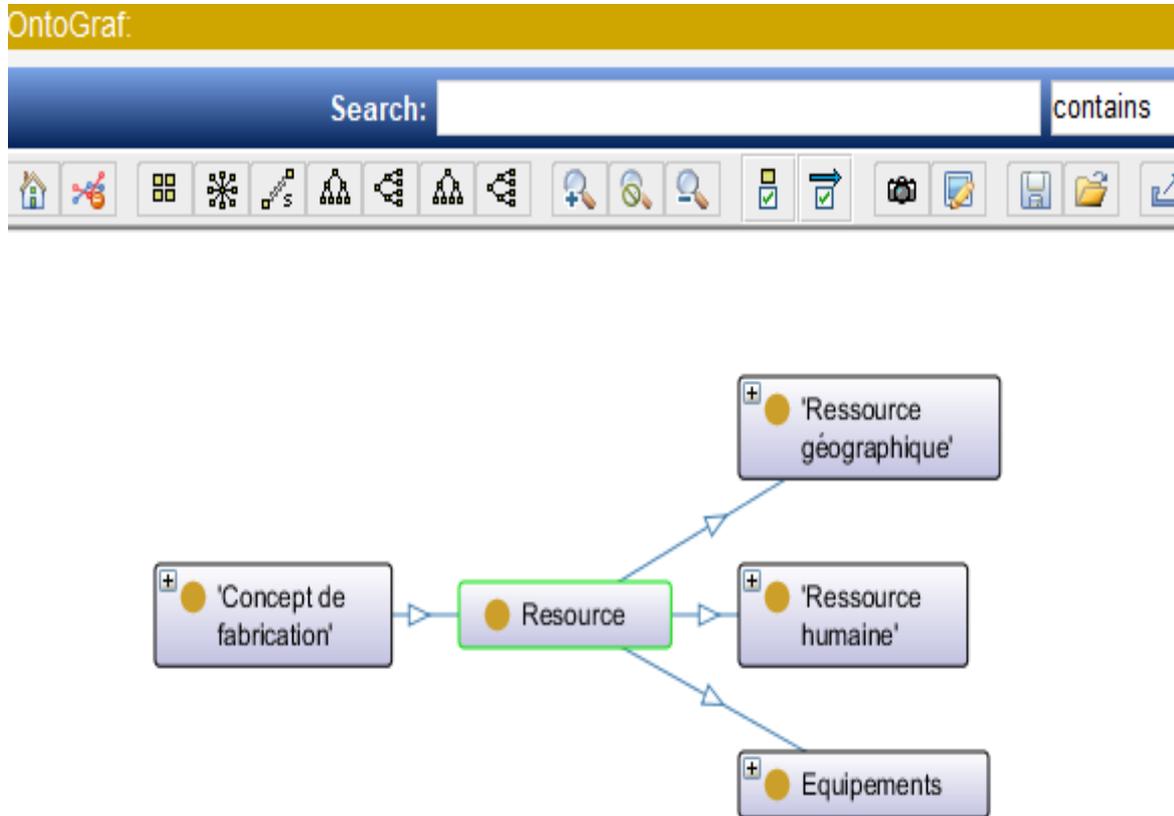


Figure III.6: Concept des ressources

III.3.3.1 Concept d'équipements « Equipment »

La classe « Equipment » a été adoptée dans (Lin et al.2011) et (Mohamed Hedi Karray et al, 2012). Dans notre ontologie proposée, le concept « ManufacturingEquipment » englobe tous les équipements, outils et machines utilisés dans le système de fabrication pour réaliser une tâche de fabrication. Ils contiennent deux concepts: «MainEuipeument» et «secondlyEquipment».

Ces informations concernent les ressources d'équipements, à savoir les Classes Équipement, l'équipement et le test de capacité de l'équipement qui peuvent être échangés entre les systèmes de l'entreprise et le système d'exécution de fabrication. La hiérarchie des ressources matérielles est représentée dans la Figure 3.7.

L'équipement peut être la définition de sites, de régions, de lignes de production, d'unités de production, de cellules de travail, de cellules ou de processus de l'unité.

L'équipement peut être constitué d'autres équipements, avec des propriétés et des capacités distinctes, par exemple une ligne de production peut être constituée de cellules de travail.

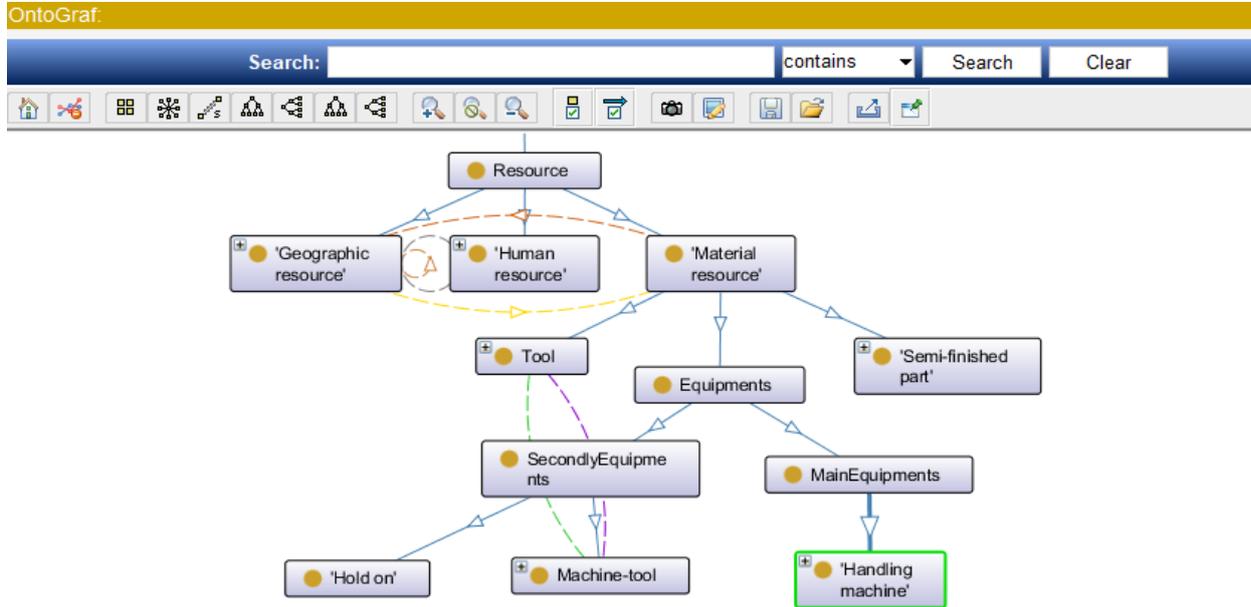


Figure III.7: Concept des ressources (équipements)

III.3.3.2 Concept des ressources humains « HumansResource »

La classe « *Ressources humaines* » de (Lemaingnan et al.2006), le rôle d'agent de maintenance dans le système de fabrication étant la tâche de maintenance, identifiant les problèmes et proposant des solutions. Dans notre ontologie de tâches de fabrication, les principaux agents de maintenance sont les suivants: ingénieur, opérateur et expert. La description des agents manufacturiers est représentée dans la Figure 3.8.

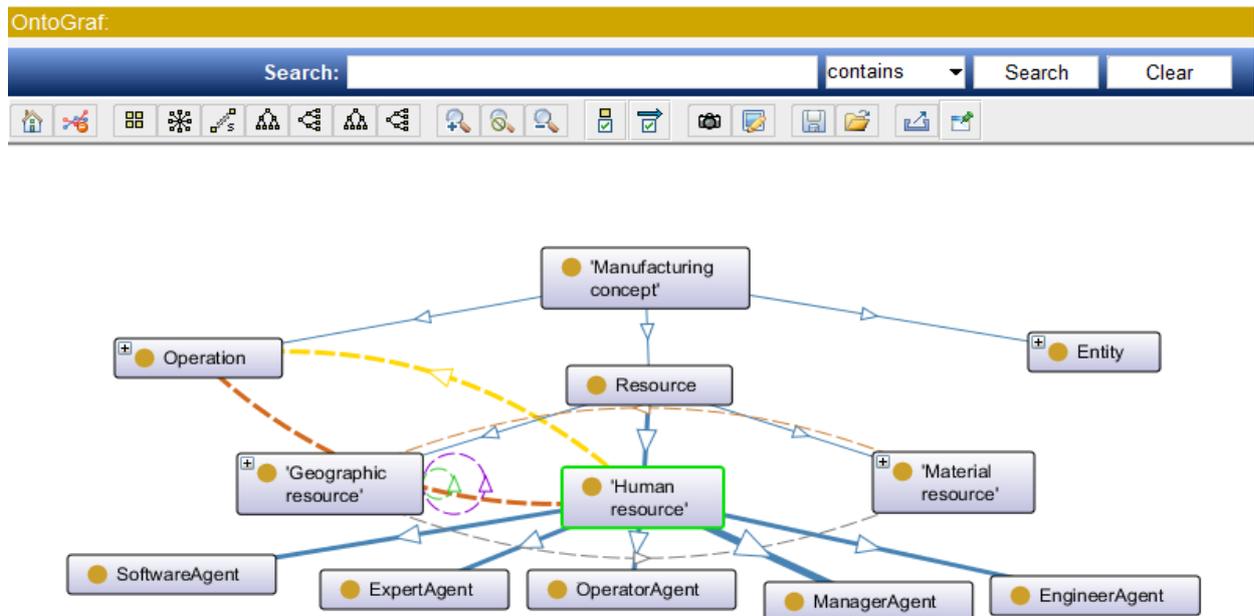


Figure III.8: Concept de ressources (agents)

III.4 Formalisation de la connaissance d'inférence par les règles SWRL

Le langage de règles du web sémantique (SWRL). SWRL comprend deux parties principales: l'antécédent et le conséquent. Un symbole implicite "est utilisé pour relier ces deux parties. De plus, le symbole de conjonction „A " est utilisé pour connecter différents atomes. Les variables en atomes sont représentées par l'identifiant d'interrogation «?». Les Formalisation de la connaissance d'inférence par SWRL présentés :

III.4.1 Procédure du choix de la stratégie de maintenance

Règle 1: si l'équipements est de la classe "MainEquipments", on l'applique la maintenance préventive "contrôle, vérification, visite....".

Règ gén: $MainEquipments(?ME) \wedge hasProblem(?ME, ?Pr) \rightarrow Controle(?ME) \wedge Visite(?ME) \wedge Vérification(?ME)$

Règle 2: si l'équipements est de la classe "SecondlyEquipments", on l'applique la maintenance corrective"dépannage,réparation....".

Règ gén: $SecondlyEquipments(?SE) \wedge hasProblem(?SE, ?Pr) \rightarrow Dépannage(?SE) \wedge Réparation(?SE)$

Règle 3: si l'équipement à un problème, on l'applique la maintenance préventive conditionnelle.

Règ gén: $Equipments(?E) \wedge ont:hasProblem(?E, ?Pr) \rightarrow MaintenanceConditionnelle(?E)$

Règle 4: si l'équipements marche sans problème ,on l'applique la maintenance préventive

systematique.

Règ gén: $Equipments(?E) \rightarrow MaintenanceSystematique(?E)$

Règle 5: si l'équipement à une défaillance, alors démarre le diagnostic.

Règ gén: $Equipments(?E) \wedge hasDéfaillance(?E, ?D) \rightarrow Diagnostic(?D)$

Règle 6: si l'équipement à une erreur, donc on le vérifie.

Règ gén: $Equipments(?E) \wedge ont:hasErreur(?E, ?E) \rightarrow Vérification(?E)$

III.4.2 Identifications de problème lié à la maintenance

- **Identification les caractéristiques du problème**

Règle 1: Identifie les caractéristiques du problème, utilise la propriété *hasFeature* associé à chaque instance de la définition du problème et agrège ces instances au sein des instances de la classe caractéristique de la fabrication.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge ont:Feature(?F) \rightarrow ont:hasFeature(?Pr, ?F)$

- **Identification les causes possibles de problème**

Règle 2: Cette règles de configuration détermine l'identification de la cause de problème associé aux instances des équipements, sur la base des exigences d'instances de problème et des équipements.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge ont:Feature(?F) \rightarrow ont:hasFeature(?Pr, ?F)$

On peut aussi appliquer la règle 2 par l'utilisation de la relation inverse *isCausedby*.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge Equipments(?E) \wedge ont:hasProblem(?E, ?Pr) \rightarrow ont:isCausedBy(?Pr, ?E).$

- **Proposer la solution liée au problème**

Règle 3:

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge Equipments(?E) \wedge Solution(?Sol) \wedge ont:hasProblem(?E, ?Pr) \wedge ont:causes(?E, ?Pr) \rightarrow ont:hasSolution(?Pr, ?Sol).$

- **Identifier la procédure de la solution**

Règle 4:

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge ont:causes(?E, ?Pr) \wedge Solution(?Sol) \wedge ont:hasSolution(?Pr, ?Sol) \wedge ont:Intervention(?IT) \rightarrow ont:hasIntervention(?Sol, ?IT)$

- **Identifier la procédure de la solution**

Règle 5: La règle 5 les procédures de la solution à partir de la solution proposé au problème.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge ont:causes(?E, ?Pr) \wedge Solution(?Sol) \wedge ont:hasSolution(?Pr, ?Sol) \wedge ont:ProceduresSol(?PS) \rightarrow ont:hasProceduralSol(?Sol, ?PS)$

- **Identification les caractéristiques de problème, de l'équipement et de l'agent**

Règle 6: la règle 6 est utilisée pour identifier les caractéristiques problèmes des équipements et des agents intervenants à ce problème, à partir des instances du problème de fabrication, des équipements et des agents, utilise la propriété *hasFeature* pour l'identification des caractéristiques des problèmes, des équipements et des agents.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge ont:Feature(?F) \wedge Equipements(?E) \wedge ont:hasProblem(?E, ?Pr) \wedge HumanRessource(?H) \rightarrow ont:hasFeature(?Pr, ?F) \wedge ont:hasFeature(?E, ?F) \wedge ont:hasFeature(?H, ?F)$

III.4.3 Procédure de l'intervention

- **Identifier les agents intervenant au problème**

Règle 1: cette règle est appliquée pour gérer la configuration des agents de fabrication qui sont capables d'intervenir aux problèmes de fabrication. Ceci est réalisé par l'identification des problèmes puis par l'identification des instances des agents.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge HumanRessource(?H) \rightarrow ont:identifies(?H, ?Pr)$

- **Identification des agents intervenant à la solution**

Règle 2: La règle 2 propose les solutions des problèmes de fabrication par les agents manufacturiers.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge HumanRessource(?H) \wedge Solution(?Sol) \rightarrow ont:proposes(?H, ?Sol)$.

Règle 3: On peut aussi appliquer la règle inverse de la règle 2 par l'utilisation de la relation inverse *isProposedBy*.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge HumanRessource(?H) \wedge Solution(?Sol) \rightarrow ont:isProposedBy(?Sol, ?H)$

Règle 4: cette règle d'affectation détermine l'identification des agents manufacturiers pour effectuer leurs tâches.

Règle.Gén: $Operation(?O) \wedge HumanRessource(?H) \rightarrow ont:Realize(?H, ?O)$.

Règle 5: cette règle d'affectation est l'application inverse de la règle 4.

Règle.Gén: $Operation(?O) \wedge HumanRessource(?H) \rightarrow isRealizedBy(?O, ?H)$.

Règle 6: Cette règle de configuration précise les identifications individuelles des agents manufacturiers pour contrôler les équipements, basées sur la spécification des agents.

Règle.Gén: $HumanRessource(?H) \wedge Equipements(?E) \rightarrow ControlOf(?H, ?E)$.

Règle 7: Cette règle d'affectation affecte à chaque problème de fabrication les exigences des agents manufacturiers pour chaque intervention aux problèmes manufacturiers.

Règle.Gén: $Problem(?Pr) \wedge HumanRessource(?H) \rightarrow isInterventionBy(?Pr, ?H)$

Règle 7:: Cette règle d'affectation pour l'identification des agents intervenant pour les

problèmes lié aux équipements principaux.

Règle gen: $MainEquipments(?ME) \wedge ExpertAgent(?EA) \wedge hasProblem(?ME, ?Pr) \wedge Solution(?Sol) \rightarrow isInterventionBy(?Sol, ?EA)$

Règle 8:: Cette règle d'affectation pour l'identification des agents intervenant pour les problèmes lié aux équipements secondaires.

Règle gen: $SecondlyEquipments(?SE) \wedge HumanRessource(?H) \wedge hasProblem(?ME, ?Pr) \wedge Solution(?Sol) \rightarrow isInterventionBy(?Sol, ?H)$

III.5 Sélection de la stratégie de la maintenance des équipements industriels par les règles SQWRL

L'interrogation de l'ontologie MASSON est basée sur la sélection de connaissances qui permet de chercher des règles SWRL en se basant sur leur contenu, sur les classes et propriétés utilisées. Utilisant le langage des requêtes SQWRL. Cette sélection jeu un rôle important dans le partage des connaissances durant l'exécution d'une tâche industrielle, il peut également être intéressant de sélectionner des connaissances liée à la tâche, aux équipements, les agents manufacturiers, le problème et leurs solutions.

Desquelles apparaissent des connaissances sur le domaine d'application. Ces requêtes sont générique est applicables pour toutes les taches manufacturiers, tel que le diagnostic, la maintenance, les opérations, l'approvisionnement, la planification ...etc.

Sélection et réutilisation des connaissances sur le problème manufacturier :

La requête *sqwrl.Pr* permet de sélectionner les connaissances liée aux problèmes manufacturiers, les connaissances sur le problème, l'identification de problème, le type de problème et sa fréquence. Ces connaissances utilisent le vocabulaire de ce domaine peuvent contenir des informations intéressantes permettant aux agents manufacturiers de raisonner avec les connaissances de ce domaine et faciliter la tâche d'identification de problème.

III.5.1 Procédures du choix de la stratégie de maintenance

Sqwrl 1: $SecondlyEquipments(?SE) \wedge MainEquipments(?ME) \wedge ont:hasProblem(?ME, ?Pr) \wedge ont:hasProblem(?SE, ?Pr) \rightarrow sqwrl:select(?SE, ?ME, ?Pr).$

Sqwrl 2: $MainEquipments(?ME) \wedge ont:hasProblem(?ME, ?Pr) \wedge Controle(?CME) \wedge Visite(?VIME) \wedge Vérification(?VRME) \rightarrow sqwrl:select(?ME, ?Pr, ?CME, ?VIME, ?VRME)$

Sqwrl 3: $SecondlyEquipments(?SE) \wedge hasProblem(?SE, ?Pr) \wedge Dépannage(?DSE) \wedge Réparation(?RSE) \rightarrow sqwrl:select(?SE, ?Pr, ?DSE, ?RSE)$

Sqwrl 4: $Equipments(?E) \wedge hasDéfaillance(?E, ?D) \wedge Diagnostic(?DCE) \rightarrow sqwrl:select(?E, ?D, ?DCE)$

Sqwrl 5: $Equipments(?E) \wedge ont:hasErreur(?E, ?ER) \wedge Vérification(?VRE) \rightarrow sqwrl:select(?E, ?ER, ?VRE)$

$\text{>sqwrl:select}(?E, ?ER, ?VRE)$

III.5.2 Identifications de problème lié à la maintenance

Sqwrl 1: $\text{Problem}(?Pr) \wedge \text{ont:Feature}(?F) \wedge \text{ont:hasFeature}(?Pr, ?F) \text{->sqwrl:select}(?Pr, ?F).$

Sqwrl 2: $\text{Problem}(?Pr) \wedge \text{Equipements}(?E) \wedge \text{ont:hasProblem}(?E, ?Pr) \wedge \text{ont:isCausedBy}(?iC, ?Pr) \text{-> sqwrl:select}(?Pr, ?E, ?iC).$

Sqwrl 3: $\text{Problem}(?Pr) \wedge \text{Equipements}(?E) \wedge \text{Solution}(?Sol) \wedge \text{ont:hasProblem}(?E, ?Pr) \wedge \text{ont:causes}(?E, ?C) \text{-> sqwrl:select}(?E, ?Pr, ?Sol).$

Sqwrl 4: $\text{Problem}(?Pr) \wedge \text{ont:causes}(?E, ?Pr) \wedge \text{Solution}(?Sol) \wedge \text{ont:hasSolution}(?Pr, ?Sol) \wedge \text{ont:ProceduresSol}(?PS) \text{->sqwrl:select}(?Sol, ?PS, ?Pr, ?E).$

III.5.3 Procédure de l'intervention

Sqwrl 1: $\text{Problem}(?Pr) \wedge \text{HumanRessource}(?H) \wedge \text{ont:identifies}(?H, ?Pr) \text{->sqwrl:select}(?Pr, ?H).$

Sqwrl 2: $\text{Problem}(?Pr) \wedge \text{HumanRessource}(?H) \wedge \text{Solution}(?Sol) \wedge \text{ont:proposes}(?H, ?Sol) \text{->sqwrl:select}(?Pr, ?H, ?Sol).$

Sqwrl 3; $\text{Operation}(?O) \wedge \text{HumanRessource}(?H) \wedge \text{ont:Realize}(?H, ?O) \text{->sqwrl:select}(?O, ?H).$

Sqwrl 4: $\text{MainEquipments}(?ME) \wedge \text{ExpertAgent}(?EA) \wedge \text{hasProblem}(?ME, ?Pr) \wedge \text{Solution}(?Sol) \wedge \text{isInterventionBy}(?Sol, ?EA) \text{->sqwrl:select}(?ME, ?EA, ?Pr, ?Sol)$

Sqwrl 5: $\text{SecondlyEquipments}(?SE) \wedge \text{HumanRessource}(?H) \wedge \text{hasProblem}(?SE, ?Pr) \wedge \text{Solution}(?Sol) \wedge \text{isInterventionBy}(?Sol, ?H) \text{->sqwrl:select}(?SE, ?H, ?Pr, ?Sol)$

III.6 Synthèse de modèle proposé

Le processus de partage des connaissances comprend quatre composants clés:

(1) La base de connaissances : C'est l'élément le plus important du processus, la connaissance du domaine par l'ontologie MASSON et une base des règles SWRL.

(2) Le système de gestion de l'ontologie : Dans le cas de la présente étude, Protégé a été utilisé, qui aide les éditeurs à établir et à modifier l'ontologie.

(3) Le moteur d'inférence : c'est le module de raisonnement du système, un moteur de règles, qui lit les faits existants et les règles créées par les ingénieurs du savoir et infère de nouveaux faits dans ce système; par exemple, le moteur JESS dans cette ontologie, un moteur de raisonnement (Pellet), qui peut vérifier la cohérence de l'ontologie développée pour éliminer les erreurs, est également un élément important.

(4) L'interface de la requête, qui est souvent utilisée pour interagir avec le système de gestion des connaissances.

La collaboration de ces quatre composants permet à l'ensemble du système d'ontologie

de fonctionner de manière transparente et efficace.

Un flux du travail de notre système est fourni comme suit:

premièrement, les ingénieurs de connaissances traduisent les connaissances capitalisées. deuxièmement, l'ontologie et les règles SWRL définies via Protégé et SWRLTab sont stockées dans une base de connaissances. Ensuite, le moteur de règles exécute les règles SWRL et génère de nouveaux faits dans la gestion de système de l'ontologie. Enfin, le décideur peut obtenir des informations utiles en définissant plusieurs contraintes à partir de l'interface de requête SQWRL (Semantic Query-Enhanced Web Rule Language). plus de détails illustrés dans le tableau III.1 et la figure III.9.

Tableau III.1: La méthodologie de développement de l'ontologie

•Éditeur d'ontologie	Protégé a été adopté pour l'ontologie car il s'agit d'un logiciel open source. Il permet à l'ontologie d'être créée et mise à jour par les utilisateurs et il est compatible avec la plupart des validateurs de syntaxe OWL. De plus, divers plugins peuvent être utilisés en combinaison avec Protégé.
Langage de development	OWL : pour modéliser les connaissances de domaine et de la tâche. SWRL: pour modéliser les connaissance d'inférence et aussi les requêtes SQWRL.
Moteur de règles	Le moteur Jess est un outil essentiel pour le développement de règles qui peuvent être appliquées à plusieurs reprises à un ensemble de faits ou exécutées pour créer de nouveaux faits.
Raisonnement d'ontologie	Pellet est un raisonneur vital dans l'ontologie. Il peut fournir des normes importantes et des services avancés de raisonnement.
Plug-ins	SWRL Tab: pour aider à écrire des règles SWRL. SWRL Editor: pour aider à modifier et à enregistrer diverses règles SWRL. SWRL Jess Bridge: pour faciliter la communication entre l'ontologie et les moteurs de règles. SQWRLQueryTab: pour offrir une interface graphique à travers laquelle les utilisateurs peuvent interagir avec les requêtes SQWRL. SWRLJessTab: pour fournir une interface graphique pour fonctionner avec SWRLJessBridge.

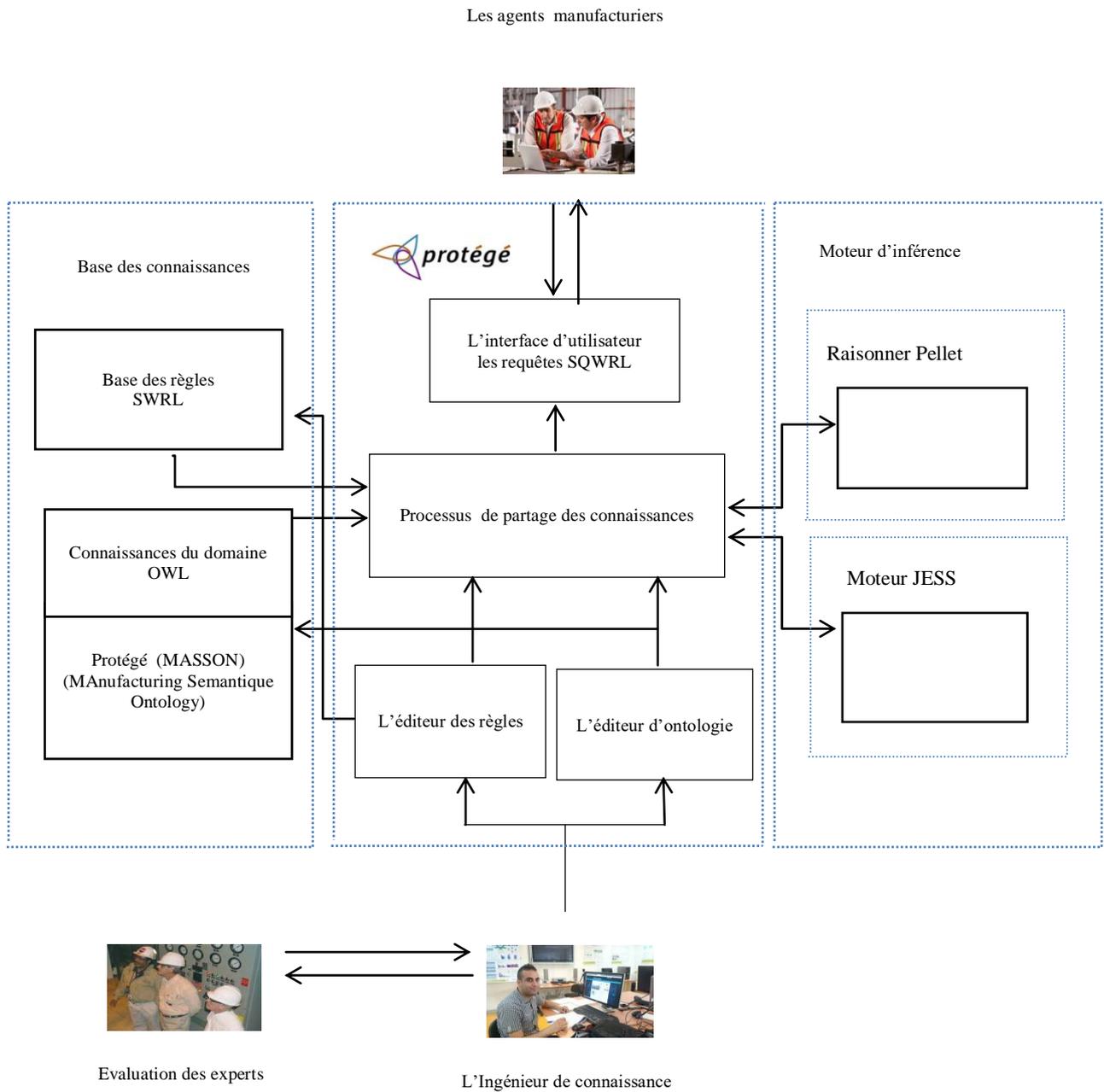


Figure III.9: Synthèse de modèle proposé

III.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la conception de notre système à base de connaissance proposé par la connaissance du domaine en langage OWL et la connaissance d'inférence par les règles SWRL. Le plugin SWRL Tab était utilisé pour éditer les règles SWRL ou les requêtes SQWRL. SWRL Jess Tab assurant la liaison entre PROTÉGÉ-OWL et le moteur de règles Jess, permet l'exécution des règles, et l'affichage des données inférées, et SQuery Tab pour l'exécution des requête SQWRL.

Dans le prochain chapitre on présente la mise en application de notre système proposé au niveau de l'AQS (Algerian Quatari Steel) d'Elmilia.

IV.1 Présentation de l'entreprise AQS

La Société Algerian Qatari Steel (AQS) a été créée en décembre 2013 et résulte d'un partenariat d'investissement entre la République Algérienne et l'État du Qatar. Dotée d'un capital social de 58,61 milliards Dinars Algériens. Elle est détenue à 49% par Qatar Steel International (QSI), à 46% par le Groupe Industriel SIDER et à 05% par le Fonds National d'Investissement (FNI), conformément à la réglementation algérienne en vigueur. ^[2]

Grâce à son volume de production (deux millions de tonnes/an), à sa fiabilité opérationnelle et à ses progrès techniques, l'AQS occupe une place importante dans la carte de l'industrie sidérurgique nationale et régionale.

SIDER et Qatar Steel, les partenaires principaux d'AQS, sont des sociétés avec une longue expérience dans le domaine de la sidérurgie, qui ont la responsabilité de gérer et opérer les deux grands complexes sidérurgiques de l'Algérie (Complexe d'El Hadjar à d'Annaba) et du Qatar (Complexe MIC près de Doha), respectivement. La technologie implantée au Complexe MIC de Qatar Steel et celle de la Réduction Directe, similaire à la technologie retenue pour le Complexe de Bellara (Figure IV.1).

L'AQS accorde également une grande attention au capital humain, en tant que moteur de croissance économique et de progrès social, notamment à travers la création d'un environnement de travail, qui encourage la créativité et l'innovation au profit de ses 1500 employés de différentes disciplines et qualifications.

L'AQS contribue à la création de richesse et au soutien du tissu industriel national en répondant aux besoins du marché local du Fer et en exportant la production excédentaire sur les marchés régionaux et internationaux.

L'AQS a commencé la production et la commercialisation de produits en fer à la fin de l'année 2017. La capacité de production initiale du complexe est d'environ 2 millions de tonnes par an de rond à béton et fil machine de différents diamètres. La deuxième Phase du programme d'investissement sera consacrée à la production d'autres types d'aciers spéciaux utilisés dans de nombreuses industries amenant ainsi la capacité de production à plus de 4 millions de tonnes par an.



Figure IV.1: Image du complexe sidérurgique de Bellara

IV.1.1 Les unités du complexe

La figure IV.2 suivante présente l'organigramme de l'AQS.

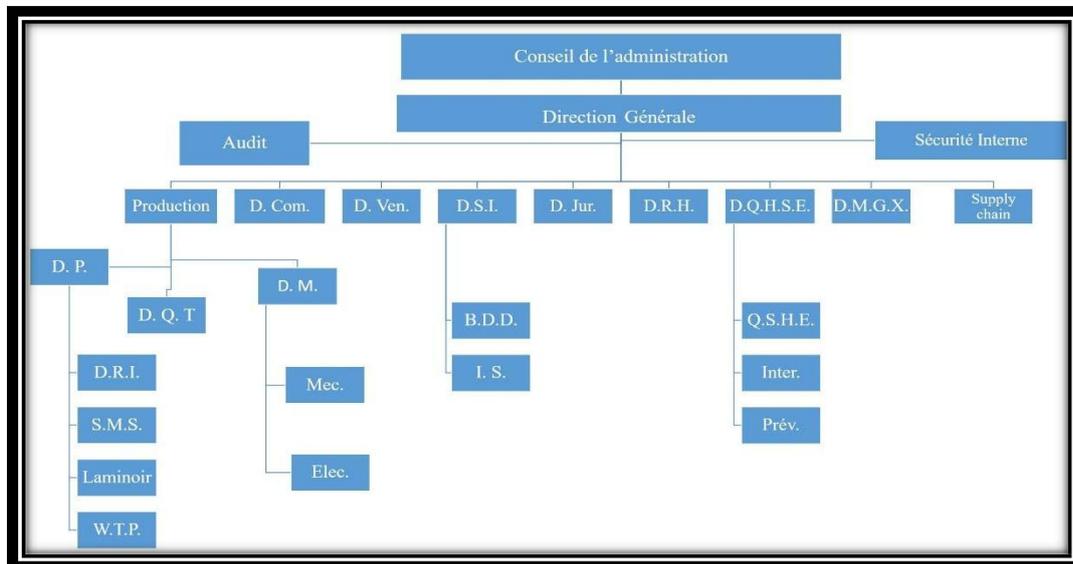


Figure IV.2: L'organigramme du complexe sidérurgique de Bellara AQS
Par la suite nous décrivons que les unités de production, à savoir :

Les unités principales

- Unité de production de l'acier (Direct Reduction Iron (CDRI)),
- Usine de production d'acier avec deux acières électriques (en anglais, Steel Melt Shop (SMS)).

- Laminoir (Rolling Mill Steel (RMS)).

Les installations complémentaires

- Unité de séparation d'air (Air séparation unit (ASU)),
- Unité de traitement de chaux (Lime treatment plant(LMP)),
- Station de récupération et de transport des matières premières,
- Station générale de traitement des eaux (Water treatment plant (WTP)),
- Sous station électrique (MRSS).

IV.1.2 Usine de production d'acier avec deux aciéries électriques (SMS)

Steel Melt Shop (SMS) est l'atelier de fonte d'acier. La fabrication de l'acier est le processus de production d'acier à partir de minerai de fer et de ferraille. Dans la fabrication de l'acier, des impuretés telles que l'azote, le silicium, le phosphore, le soufre et l'excès de carbone sont éliminées du fer brut, et des éléments d'alliage tels que le manganèse, le nickel, le chrome et le vanadium sont ajoutés pour produire différentes nuances d'acier. Ce projet repose sur la technologie de l'acier au four électrique (EAF)(1650°C) (Fig.10), qui utilise de la ferraille et du fer à réduction directe (DRI) comme matière principale.

L'usine de production d'acier contenant également les unités auxiliaires suivantes :

- Station de traitement des fumées.
- Déchet de ferraille (Scarpe yard).
- Station de traitement des eaux Ferroalloy.



Figure IV.3: L'unité de production d'acier avec deux aciéries électriques (SMP)

IV.1.3 Laminoir (RMS)

Le processus de laminage comprend le réchauffage de chaleur de billette (1050°C), les opérations de laminage et de formage. Dans cette plante, la taille, la forme et les propriétés métallurgiques des billettes métalliques sont modifiées par compression répétée de métal chaud entre des rouleaux entraînés électriquement (Fig. 4.4). Au niveau de cette unités que les produits finaux sont produits.



Figure IV.4: Laminoir (Rolling Mill)

IV.2 Entretien et maintenance d'un système hydraulique

Contexte

Les systèmes hydrauliques entraînent les parties mobiles de nombreux équipements industriels en utilisant la force transmise par un fluide sous pression. Ces systèmes vont des plus simples aux plus grands, jusqu'aux plus hautes pressions, avec un éventail complexe de servovalves et de pompes. Quelles que soient sa taille et sa complexité, la maintenance du système et de l'huile hydraulique est cruciale pour optimiser le temps de disponibilité des machines et réduire les coûts de réparation.

Entretien du fluide hydraulique

Les fluides hydrauliques sont un composant vital du système hydraulique. Le fluide hydraulique transmet la pression et la puissance, réduit les fuites entre des pièces à jeux réduits, minimise l'usure et le frottement, évacue la chaleur, ainsi que les particules de pollution et d'usure et protège les surfaces contre la corrosion. Les huiles minérales conventionnelles sont couramment utilisées dans les systèmes hydrauliques, mais des fluides synthétiques, biodégradables ou ininflammables peuvent être utilisés dans certaines applications.

Voici les quatre objectifs clés qui sont essentiels pour obtenir une durée de vie optimale des fluides hydrauliques :

Contrôler la température : de la chaleur est générée au sein du fluide lors de son passage dans les pompes, tuyauteries, moteur, vannes de décharges et organes de régulation. Dans des systèmes traditionnels, des températures excessives provoqueront l'oxydation de l'huile et peuvent entraîner la formation de vernis et de dépôts dans le circuit. À l'inverse, fonctionner à une température trop basse favorisera la condensation dans le réservoir et augmentera la probabilité de cavitation des pompes.

Les températures types pour un système hydraulique industriel sont généralement comprises entre 45 et 65°C. Par contre, les températures pour des systèmes hydrauliques mobiles peuvent aller jusqu'à 120°C. La sélection du bon grade pour l'huile hydraulique est essentielle pour assurer la protection à températures élevées, lors de démarrages à froid et pour obtenir une efficacité optimale du système. Maintenez les systèmes qui fonctionnent avec un fluide à base d'eau à une température inférieure à 60°C pour éviter que l'eau ne s'évapore.

Les dépôts produits par la dégradation de l'huile peuvent obstruer les distributeurs et les crépines d'aspiration. Les servovalves à faible tolérance risquent alors de se gripper et / ou de fonctionner erratiquement. Pour permettre à la chaleur de sortir du système, fais en sorte

que l'extérieur du réservoir reste propre et que la zone autour de la centrale soit dégagée de toute obstruction. Assurez-vous que le refroidisseur d'huile fonctionne correctement et faites en sorte qu'il n'y ait pas de poussière au niveau des échangeurs refroidis à l'air. Pour la plupart des refroidisseurs d'huile, la baisse de température obtenue est de 3 à 6°C.

Les réservoirs doivent être remplis jusqu'au niveau approprié pour laisser un temps de séjour du fluide suffisant pour dissiper la chaleur et permettre la décantation de l'eau et des impuretés.

Dans les systèmes modernes utilisant des servovalves, la dégradation de l'huile peut être encore plus néfaste.

Une pression élevée (jusqu'à 275 bars), des températures importantes et une petite taille de réservoir mettent le fluide à rude épreuve.

Avec un temps de séjour minimal et des pressions élevées, les bulles d'air entraînées peuvent provoquer une montée en chaleur localisée extrême du fluide hydraulique. Cela entraîne la fixation de l'azote qui, lorsqu'elle est combinée à une oxydation de l'huile, peut provoquer la formation de dépôts qui obstrueront les filtres et donneront lieu à des blocages de servovalves.

Maintenir les systèmes propres : même les systèmes neufs peuvent être contaminés et doivent être nettoyés avant utilisation. Évitez que des contaminants (poussières, eau, fluides de coupe et particules métalliques) n'entrent dans le système par le dessus du réservoir, des orifices d'aspiration et de vidange, à travers les raccords de remplissage et reniflards, par les garnitures des vérins, et via les fuites à l'aspiration des pompes.

Maintenir le fluide propre : garder les fluides hydrauliques propres commence par de bonnes pratiques de stockage et de manipulation. Pour éviter toute contamination avant l'utilisation, stockez le fluide neuf dans un espace protégé et versez-le dans des récipients propres DÉDIÉS. Nettoyez le bouchon de remplissage avant de le retirer pour ajouter du fluide hydraulique. Sur les systèmes critiques à commande numérique, utilisez des flexibles à raccord rapide et filtrez toute l'huile que vous ajoutez dans le réservoir à l'aide d'un filtre de 5 microns.

Les filtres série installés dans le système permettent de maintenir le fluide propre pendant l'utilisation.

Ces filtres sont souvent oubliés et fonctionnent en by-pass, ce qui permet ainsi à l'huile polluée de circuler. Inspectez fréquemment les filtres série et remplacez ou nettoyez-les avant qu'ils ne soient by-passés. Les groupes de filtration mobiles compléteront les filtres

permanents installés et on doit constamment les faire tourner d'un système à un autre, que vous pensiez que le système ait besoin d'être filtré ou non.

Les systèmes doivent être filtrés suffisamment longtemps pour faire passer le volume total d'huile à travers le filtre au moins 10 fois.

Les groupes de filtration doivent être utilisés lorsque vous transférez une huile neuve des fûts ou d'un réservoir de stockage à un groupe hydraulique (en particulier pour les machines à commande numérique).

Mettre en place un programme d'analyse d'huile : les constructeurs spécifient généralement que l'huile hydraulique du système doit être vidangée chaque année. Toutefois, avec un programme efficace d'analyse de l'huile, vous pouvez augmenter sans risque cet intervalle, tout en bénéficiant d'un« système d'avertissement anticipé » en cas d'éventuels problèmes mécaniques.

Vérifiez vos systèmes hydrauliques critiques et à grand volume au moins chaque année par analyse d'huile.

Des intervalles d'échantillonnage semestriels, voire trimestriels, peuvent être nécessaires pour les machines extrêmement critiques. Rapprochez-vous de votre ingénieur d'application ExxonMobil et du constructeur de votre machine pour connaître le meilleur intervalle d'échantillonnage et les paramètres de suivi. Pour plus d'informations, merci de vous reporter à notre fiche d'informations techniques intitulée « Analyse de l'huile : les fondamentaux ».

Entretien du système hydraulique

La maintenance du système hydraulique est tout aussi importante que la maintenance de l'huile hydraulique (et directement liée).

Toutes les opérations de filtration et d'analyse effectuées sur une huile hydraulique n'auraient aucun sens et seraient vaines si le système lui-même est mal entretenu.

Un contrôle en 10 points : un technicien de lubrification ou un opérateur responsable de la maintenance du système hydraulique devrait, au minimum, appliquer la liste de vérifications suivante, en 10 points, dans le cadre d'une « analyse rapide » hebdomadaire de routine d'un système hydraulique :

- Contrôlez les niveaux. Ajoutez de l'huile (si nécessaire) via une filtration portable (si disponible). NE
- MÉLANGEZ PAS DES HUILES DIFFÉRENTES ! Utilisez la même marque d'huile et le même grade de viscosité que ceux actuellement utilisés dans le système.

- Inspectez les bouchons reniflards, les filtres à air et les crépines de remplissage.
- Ne percez PAS de trous dans les crépines pour pouvoir accélérer les appoints d'huile.

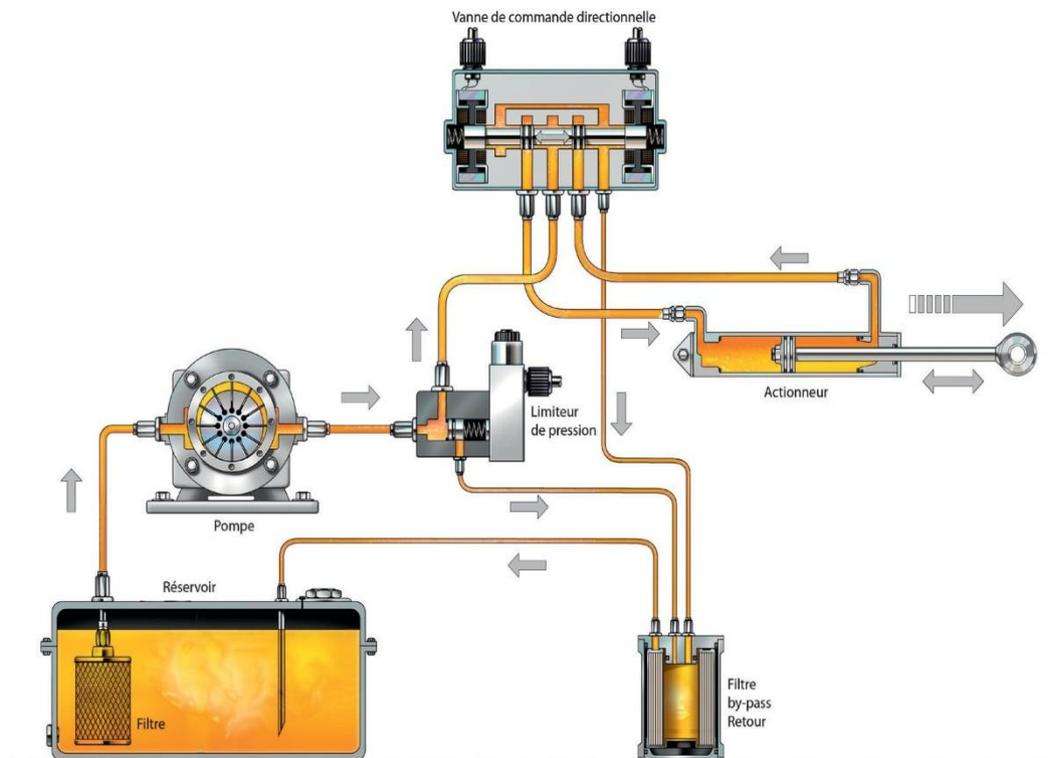


Figure IV.5: Schéma explicatif de système hydraulique dans L'AQS

- Vérifiez les indicateurs de colmatage des filtres et / ou les jauges de pression différentielle.
- Inspectez visuellement tous les flexibles, conduits et raccords du système à la recherche de fuites ou de fissures. Une fuite de fluide hydraulique est un problème courant dans les systèmes industriels. Une fuite excessive présente un danger pour l'environnement et la sécurité, augmente le taux de déchets et la consommation d'huile et, si elle est ignorée, elle peut suffisamment réduire le volume d'huile dans la centrale et entraîner une surchauffe.
- Vérifiez la température du système à l'aide des thermomètres intégrés ou d'un détecteur infrarouge portable. La plage normale de températures pour la plupart des systèmes est comprise entre 45 et 60°C. Si les températures sont plus élevées, vérifiez le bon fonctionnement du refroidisseur et la vanne de décharge.
- Inspectez visuellement l'intérieur du réservoir à la recherche de problème de

désaération (via l'orifice de remplissage à l'aide d'une lampe de poche).

Ce phénomène se traduit par des bulles d'air transportées avec le flux d'huile et dans la pompe. Les signes visuels d'aération dans le réservoir sont généralement le moussage et / ou de petits tourbillons entraînant des poches d'air à l'intérieur de la crépine d'aspiration. Voici quelques causes d'aération : niveaux de fluides bas ; prise d'air à l'aspiration ; température de fluide basse ; viscosité trop élevée ralentissant la désaération et générant des pertes de charge à l'aspiration de la pompe ; ou joints d'étanchéité défectueux. Lorsque des prises d'air sont suspectées dans le circuit d'aspiration, recouvrir ces points avec de l'huile permettra généralement de localiser les fuites en créant un net changement dans le bruit de la pompe.

Une pompe aspirant de l'air émet un bruit de claquement caractéristique.

- Écoutez le bruit émis par la pompe pour rechercher des signes de cavitation. La cavitation est légèrement plus compliquée que le moussage, mais elle comporte quelques similitudes. La cavitation survient lorsque de l'air est relâché de l'huile hydraulique pendant une dépressurisation passagère au niveau de l'aspiration de la pompe et que ces bulles d'air implosent sur des surfaces métalliques lors de la chute de pression. Ces implosions sont extrêmement destructrices pour les surfaces de la pompe. Une pompe qui cavite émettra un sifflement ou claquement rapide aigu. Les causes de cavitation sont les mêmes que celles de l'aération, à l'exception des prises d'air côté aspiration. Comment distinguer l'aération de la cavitation ? L'un des moyens pour ce faire est d'installer un manomètre côté aspiration et de s'assurer que la pression est égale ou supérieure à celle recommandée par le fabricant de la pompe. Du moussage dans le réservoir peut être révélateur de problème de désaération.
- Vérifiez la couleur, l'odeur et les traces de contamination sur un échantillon de fluide. Notez que le niveau de précision d'une inspection visuelle est limité car elle ne détectera que des signes de contamination importante.
- Vérifiez les servovalves à l'aide d'un thermomètre ou caméra infrarouge. Des températures élevées au niveau de la vanne et du solénoïde (supérieures à 65°C) indiquent généralement un blocage des tiroirs.
- Vérifiez les points chauds du moteur électrique et ses roulements à l'aide d'un thermomètre à infrarouge.

Recommandations relatives aux vidanges

voici les étapes à suivre pour changer le fluide hydraulique d'un système:

- Vidangez le système pendant que le fluide est chaud pour garder les contaminants en

suspension*.

- Videz le fluide qui pourrait ne pas s'écouler correctement contenu dans les vérins, les accumulateurs et les tuyaux. Raclez, siphonnez ou pompez l'huile restant dans le réservoir.
- Essuyez proprement le réservoir avec des chiffons non pelucheux puis retirez la rouille et les écailles de peinture.
- Remplacez ou nettoyez les filtres et les crépines puis nettoyez les logements des filtres.
- Remplissez le système avec l'huile neuve en veillant à purger les points hauts.
- Redémarrez et vérifiez que le système fonctionne normalement.

*Pour les systèmes présentant une accumulation importante de dépôts, de boues et / ou de vernis:

- Un produit nettoyant hydrocarbure (tel que Mobilsol PM) peut être nécessaire.
- Suivez les recommandations des fabricants.

Mesures de sécurité

Les systèmes hydrauliques fonctionnent sous des pressions très élevées. Arrêtez le système, puis réduisez la pression du système avant d'ouvrir toute partie du système sous pression. Évitez tout contact entre une fuite d'huile sous pression et toute partie du corps car elle pourrait entraîner des blessures graves. Les pompes, les distributeurs et le moteur peuvent chauffer. Veillez à éviter tout contact entre la peau et toute surface chaude. Éloignez vos mains et vos vêtements des pièces en mouvements du système.

IV.3 Formalisation de la connaissance du domaine de l'AQS par langage OWL

L'interface de notre logiciel est illustrée par la Figure (4.6):

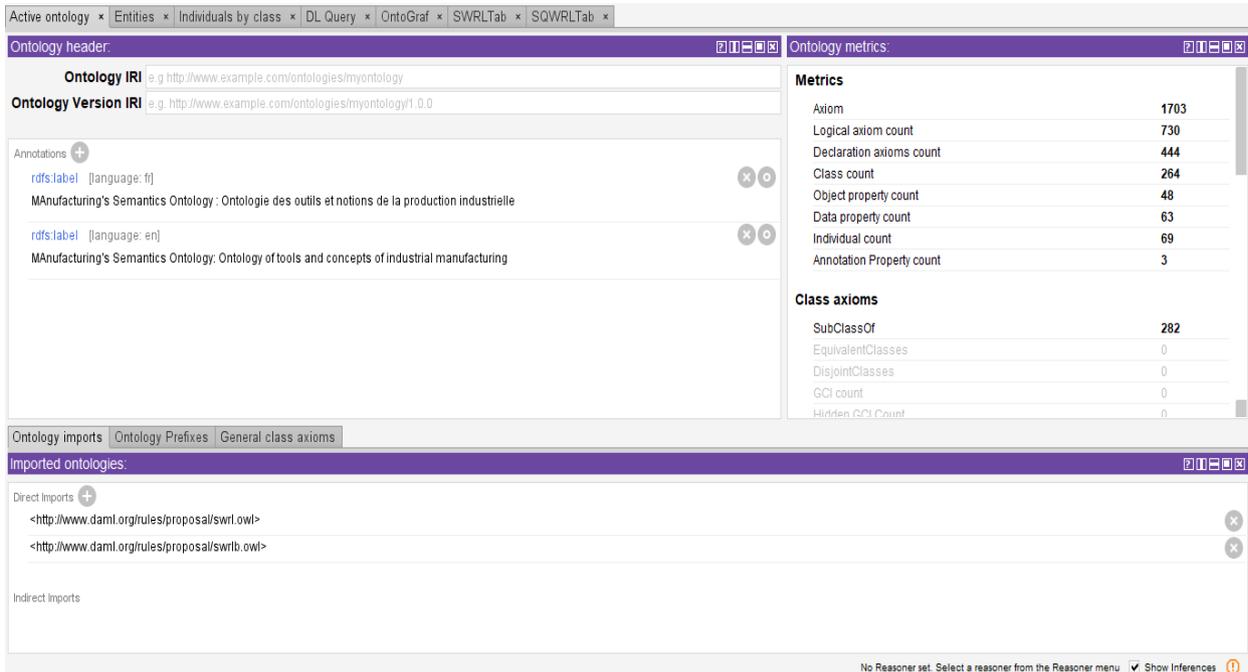


Figure IV.6: L'interface du logiciel

Dans le but d'améliorer le système d'intervention et la qualité des connaissances à utiliser, nous avons appliqué l'ontologie proposée MASSON qui compose les concepts principaux: "SystèmeHydraulique", "SolutionHydraulique", "ProblèmeHydraulique". Nous avons appliqué une application spécifique de MASSON à la maintenance de système hydraulique dans L'AQS.

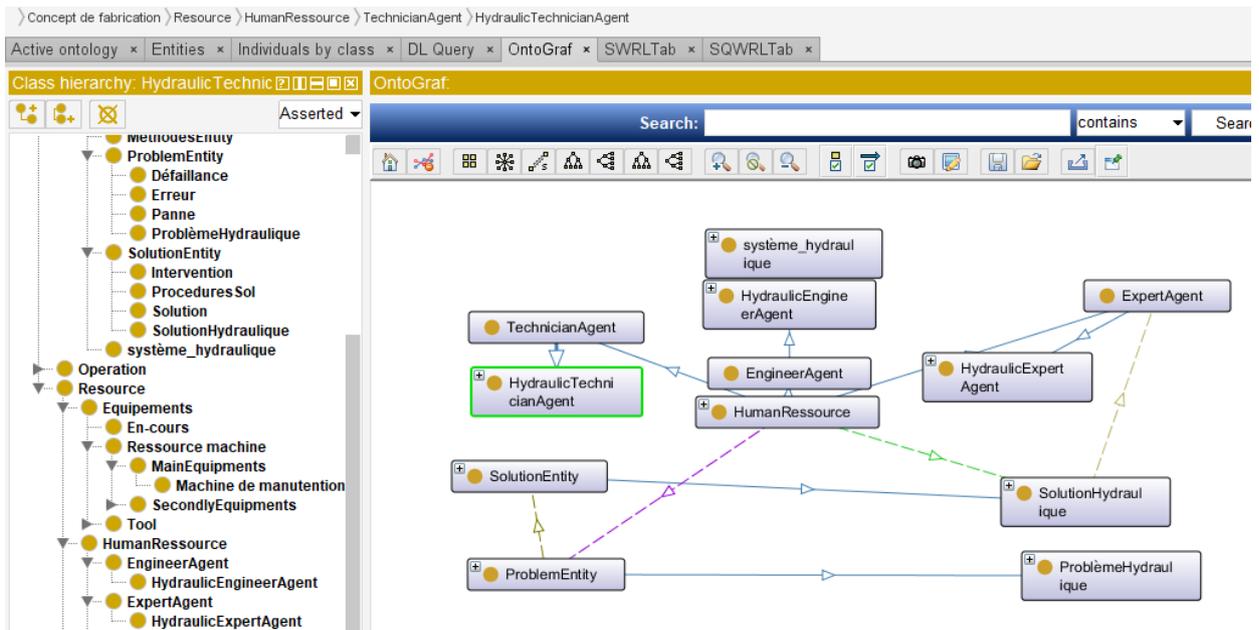


Figure IV.7: Les principaux concepts liés au système hydraulique dans l'AQS par OntoGraf

Phase de la modélisation du système

La phase de modélisation représente les connaissances de domaine en langage OWL, les composants principaux du modèle de connaissances sont les concepts, les propriétés et les instances, nous présentons les principales classes de MASSON pour la tâche de diagnostic du système: *“Entities ”* , *“Operation”* , *“Maintenance”* , *“Ressources”* , *“HumanRessources”* , *“Equipments”* , *“ProblèmeHydraulique”* , *“SolutionHydraulique”* .un exemple de connaissance du domaine des équipements principales et secondaires de L'AQS est illustré a la figure .

- La classe *“Maintenance”* décrit toutes tâches industrielles réalisées pour la maintenance des instruments industrielles.
- La classe *“HumanRessources ”* identifie et décrit les agents humains ou informatiques impliqués dans la réalisation des tâches de maintenance.
- La classe *“Equipment”* identifie et décrit tous les équipements industriels nécessaires utilisés pour la production et la maintenance.
- Les équipements principaux sont: «Pompe», «Servovalves», et «Moteur».
- Les équipements secondaires composent également de: «Actionneur», «Filtre», «Tuyauteries», «Limiteur de pression »et «Fluide Hydraulique».



Figure IV.8: Classification des équipements de système hydraulique par protégé

- La classe *“ProblemHydraulique”* identifie et décrit tous les problèmes dans le système hydraulique.
- La classe *“SolutionHydraulique”* identifie et propose toutes les solutions industrielles possibles pour résoudre les problèmes de système hydraulique durant la production.
- La classe *“SystèmeHydraulique”* identifie toutes les caractéristiques industrielles liées aux processus, Agents, taches, équipements, Problèmes et solutions.

Les propriétés représentent les propriétés d’objets qui sont des relations entre les concepts:

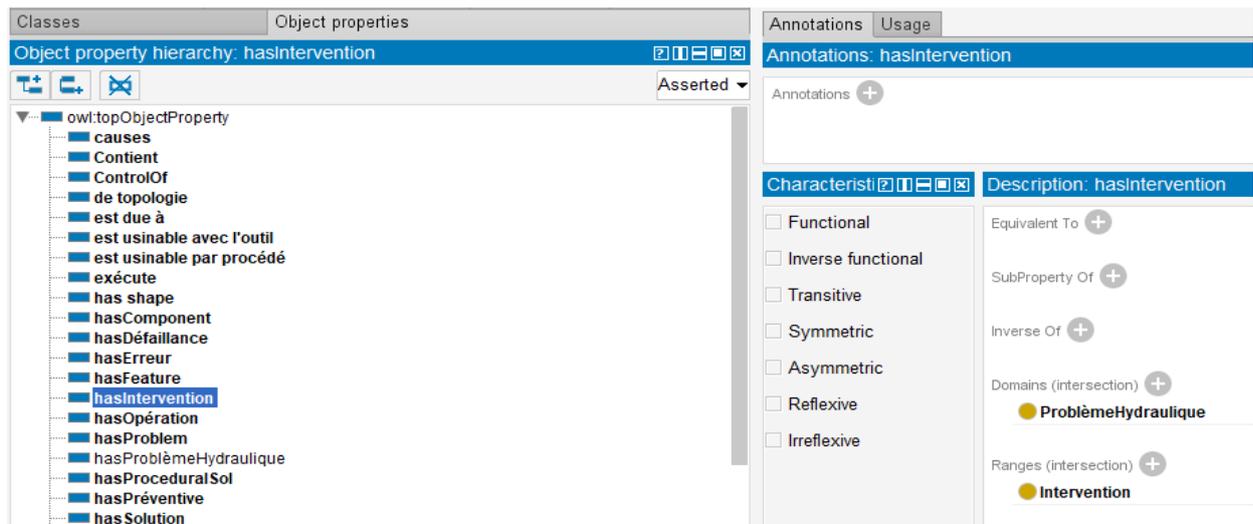


Figure IV.9: Les différentes relations entre concepts par protégé

Les propriétés des données qui sont les attributs, comme les attributs:

D'agent : « Agent_ID », « Agent_Experience », « Agent_Fonction » et « Agent_Deploma ».

Du système de hydraulique : « Température », « Pression »

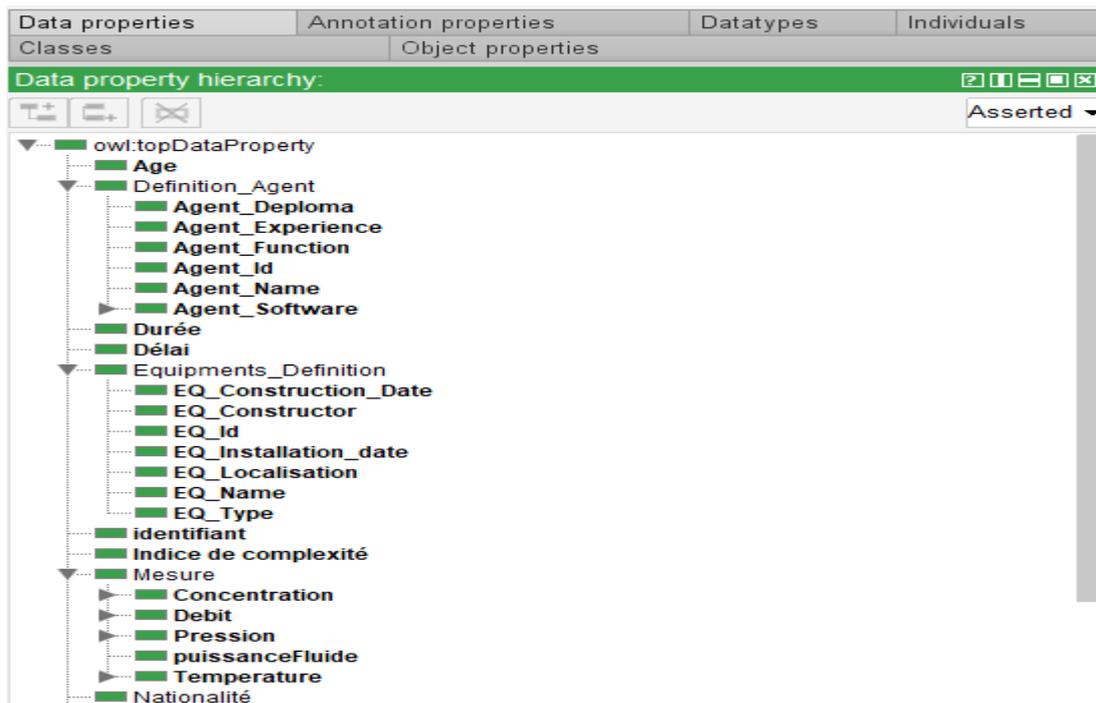


Figure IV.10: Les attributs liés aux classe et individus

Un exemple des relations entre «Maintenance» et «SystèmeHydraulique» sont illustrées à la figure IV.11.

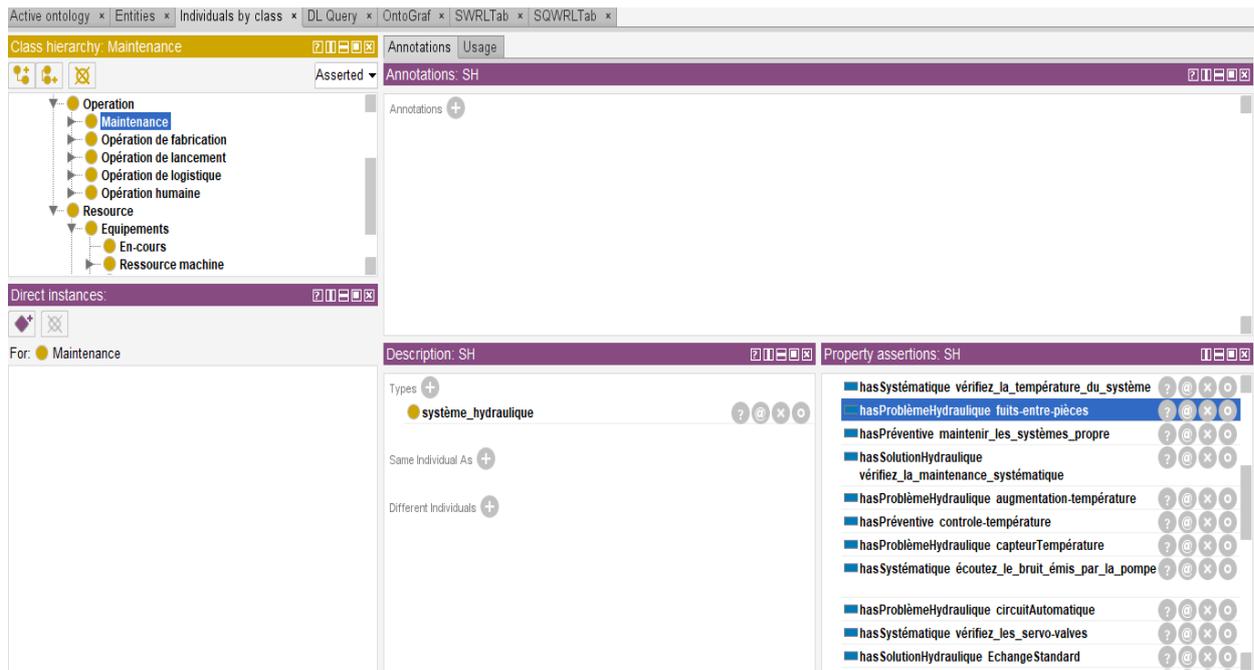


Figure IV.11: Les relations entre maintenance et système hydraulique par protégé

IV.4 Formalisation de la connaissance d'inférence par les règles SWRL

Pour la formalisation de la connaissance d'inférence, nous avons utilisé le langage SWRL comme langage des règles sémantiques, nous avons besoin d'identifier la politique de maintenance des équipements industriels. Nous avons utilisé les règles SWRL (voir chapitre 3) par des règles **Règle.SWRL.1, Règle.SWRL.2...**

Name	Rule	Comment
<input type="checkbox"/> S1	ont:système_hydraulique(ont:SH) ^ ont:intervention(?In) ^ ont:hasIntervention(?PH, ?In) -> sqwrl:select(ont:SH, ?In)	
<input checked="" type="checkbox"/> rule14	Operation(?O) ^ HumanResource(?H) -> ont:Realize(?H, ?O)	intervention
<input checked="" type="checkbox"/> rule15	Operation(?O) ^ HumanResource(?H) -> ont:isRealizedBy(?O, ?H)	intervention
<input checked="" type="checkbox"/> rule17	HumanResource(?H) ^ Equipements(?E) -> ont:ControlOf(?H, ?E)	intervention
<input checked="" type="checkbox"/> rule31	MainEquipments(?ME) ^ ont:hasProblem(?ME, ?Pr) -> Controle(?ME) ^ Visite(?ME) ^ Vérification(?ME)	sdm
<input checked="" type="checkbox"/> rule32	SecondlyEquipments(?SE) ^ ont:hasProblem(?SE, ?Pr) -> Dépannage(?SE) ^ Réparation(?SE)	sdm
<input checked="" type="checkbox"/> rule33	Equipments(?E) ^ ont:hasProblem(?E, ?Pr) -> MaintenanceConditionnelle(?E)	sdm
<input checked="" type="checkbox"/> rule34	Equipments(?E) ^ ont:hasErreur(?E, ?ER) -> Vérification(?E)	sdm
<input checked="" type="checkbox"/> rule35	Equipments(?E) ^ ont:hasDéfaillance(?E, ?D) -> Diagnostic(?D)	sdm
<input type="checkbox"/> s3	MainEquipments(?ME) ^ ont:hasProblem(?ME, ?Pr) ^ ont:Realize(?ME, ?R) -> sqwrl:select(?ME, ?Pr)	s3
<input type="checkbox"/> sdm	MainEquipments(?ME) ^ ont:hasProblem(?ME, ?Pr) ^ Controle(?CME) ^ Visite(?VME) ^ Vérification(?VRME) -> sqwrl:select(?ME, ?Pr, ?CME, ?VME, ?VRME)	sqwrl
<input type="checkbox"/> sqwrl 10	ont:système_hydraulique(ont:SH) ^ MaintenancePréventive(?MP) ^ ont:hasPréventive(ont:SH, ?MP) ^ MaintenanceSystèmeatique(?MS) ^ ont:hasSystèmeatique(ont:S...	
<input type="checkbox"/> sqwrl Hyd 7	ont:HydraulicEngineerAgent(?EH) ^ HumanResource(ont:ExpHrd) ^ ont:SolutionHydraulique(?SolH) ^ ont:Intervention(?I) ^ ont:isProposedBy(?SolH, ont:ExpHrd) ... selection des agent interven	

Using the Drools rule engine.

Press the 'OWL+SWRL->Drools' button to transfer SWRL rules and relevant OWL knowledge to the rule engine.

Press the 'Run Drools' button to run the rule engine.

Press the 'Drools->OWL' button to transfer the inferred rule engine knowledge to OWL knowledge.

The SWRLAPI supports an OWL profile called OWL 2 RL and uses an OWL 2 RL-based reasoner to perform reasoning.

See the 'OWL 2 RL' sub-tab for more information on this reasoner.

Figure IV.12 : Formalisation de la connaissance d'inférence par les règles SWRL dans protégé

IV.5 Sélection de la stratégie de la maintenance des instruments industriels par les règles SQWRL

L'ontologie MASSON est basée sur la sélection de connaissances qui permet de chercher des règles SWRL en se basant sur leur contenu, sur les classes et propriétés utilisées, utilisant le langage des requêtes SQWRL.

Les exemples des règles :

Règle 1: $Cause(?C) \wedge ont:ProblèmeHydraulique(?PrH) \wedge ont:causes(?C, ?Pr) \rightarrow sqwrl:select(?PrH, ?C).$

Règle 2: $ont:système_hydraulique(ont:SH) \wedge Equipments(?E) \wedge ont:hasComponent(ont:SH, ?E) \rightarrow sqwrl:select(ont:SH, ?E).$

Règle 3: $ont:système_hydraulique(ont:SH) \wedge MaintenanceSystématique(?MS) \wedge ont:hasOpération(ont:SH, ?MS) \rightarrow sqwrl:select(ont:SH, ?MS).$

Règle 4: $ont:ProblèmeHydraulique(?PrH) \wedge ont:SolutionHydraulique(?SolH) \wedge ont:hasSolution(?PrH, ?SolH) \rightarrow sqwrl:select(?PrH, ?SolH).$

Règle 5: $ont:Intervention(?In) \wedge ont:ProblèmeHydraulique(?PrH) \wedge ont:hasIntervention(?PrH, ?In) \rightarrow sqwrl:select(?PrH, ?In).$

Règle 6: $ont:HydraulicEngineerAgent(?EH) \wedge HumanRessource(ont:ExpHyd) \wedge ont:SolutionHydraulique(?SolH) \wedge ont:Intervention(?I) \wedge ont:isProposedBy(?SolH, ont:ExpHyd) \wedge ont:isInterventionBy(?I, ?EH) \rightarrow sqwrl:select(?SolH, ont:ExpHyd, ?I, ?EH) \wedge sqwrl:columnNames("Solution Proposé", "Expert intervenant", "Intervention", "les ingenieur intervenant").$

Règle 7: $ont:système_hydraulique(ont:SH) \wedge MaintenanceSystématique(?MS) \wedge ont:hasSystématique(ont:SH, ?MS) \rightarrow sqwrl:select(ont:SH, ?MS) \wedge sqwrl:columnNames("système hydraulique", "maintenance systématique").$

Règle 8: $ont:système_hydraulique(ont:SH) \wedge MaintenancePréventive(?MP) \wedge ont:hasPréventive(ont:SH, ?MP) \rightarrow sqwrl:select(ont:SH, ?MP) \wedge sqwrl:columnNames("système hydraulique", "maintenance Préventive").$

Règle 9: $ont:système_hydraulique(ont:SH) \wedge MaintenancePréventive(?MP) \wedge ont:hasPréventive(ont:SH, ?MP) \wedge MaintenanceSystématique(?MS) \wedge ont:hasSystématique(ont:SH, ?MS) \rightarrow sqwrl:select(ont:SH, ?MP, ?MS) \wedge sqwrl:columnNames("système hydraulique", "maintenance Préventive", "maintenance systématique").$

Règle 10: $MaintenanceSystematique(?MS) \wedge ont:HydraulicTechnicianAgent(?HT) \wedge ont:isRealizedBy(?MS, ?HT) \rightarrow sqwrl:select(?MS, ?HT) \wedge sqwrl:columnNames("maintenance systématique", "Agent intervenant")$.

- Sélection des agents intervenant pour la solution du problème hydraulique

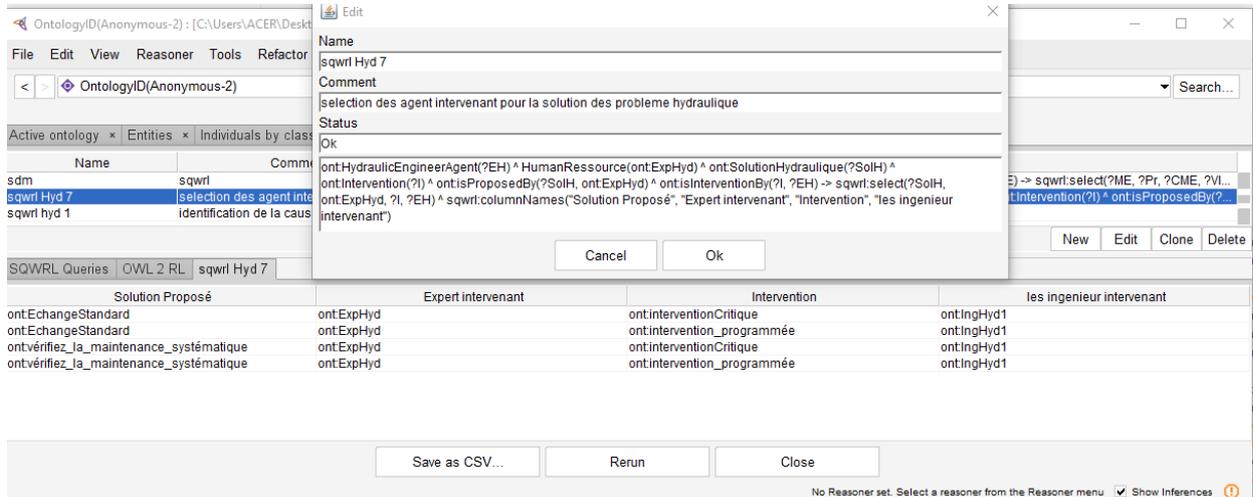


Figure IV.13: Sélection des agents par SQWRL

- Identification des composants de système hydraulique

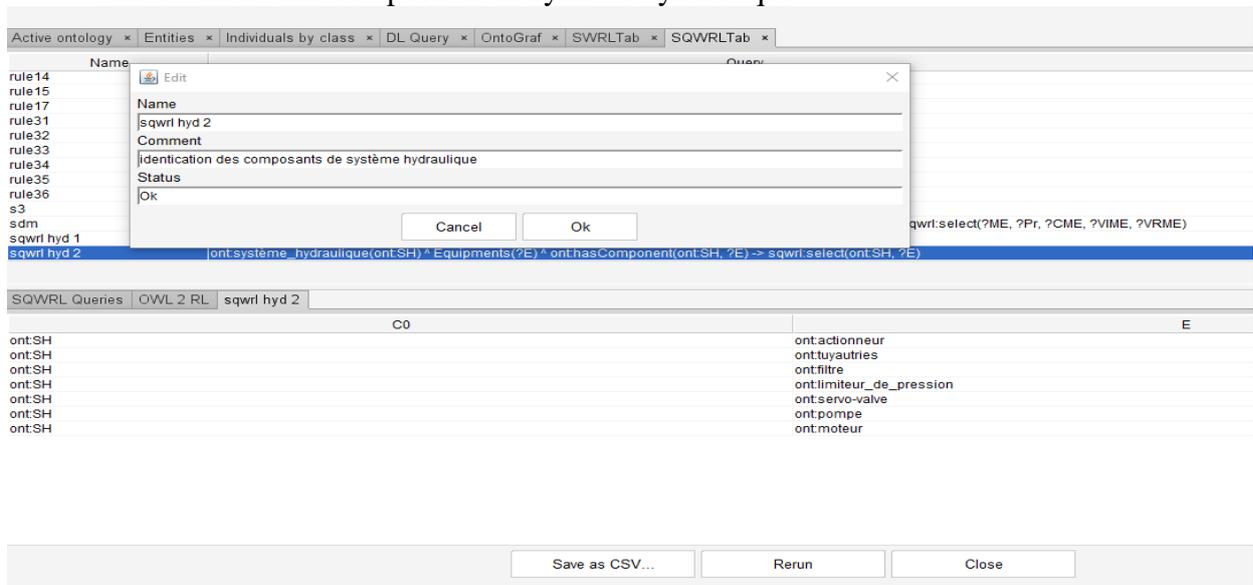


Figure IV.14: Identification des composants par SQWRL

- Identification de solutions liées aux problèmes

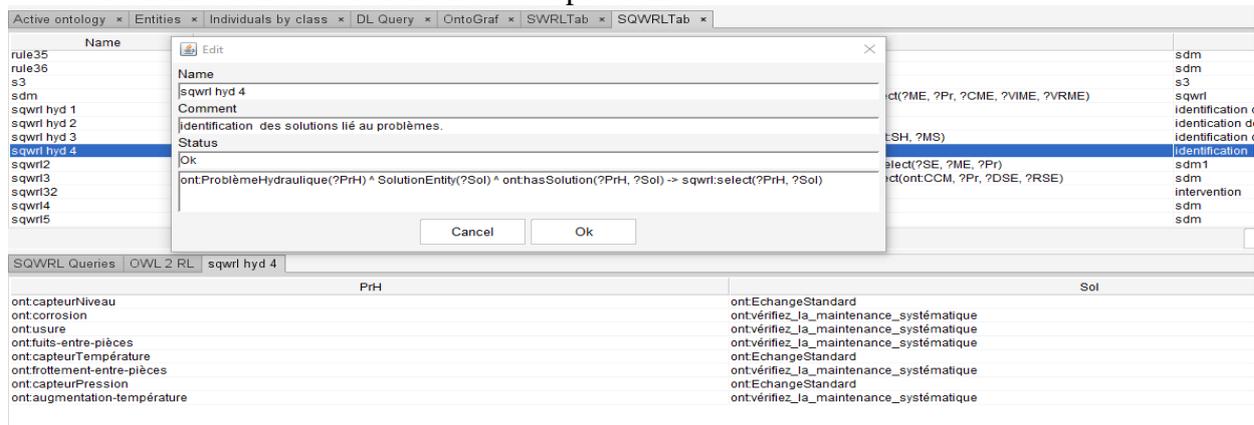


Figure IV.15: Identification des solutions par SQWRL

- Sélection des techniciens intervenant dans les tâches de maintenance systématique

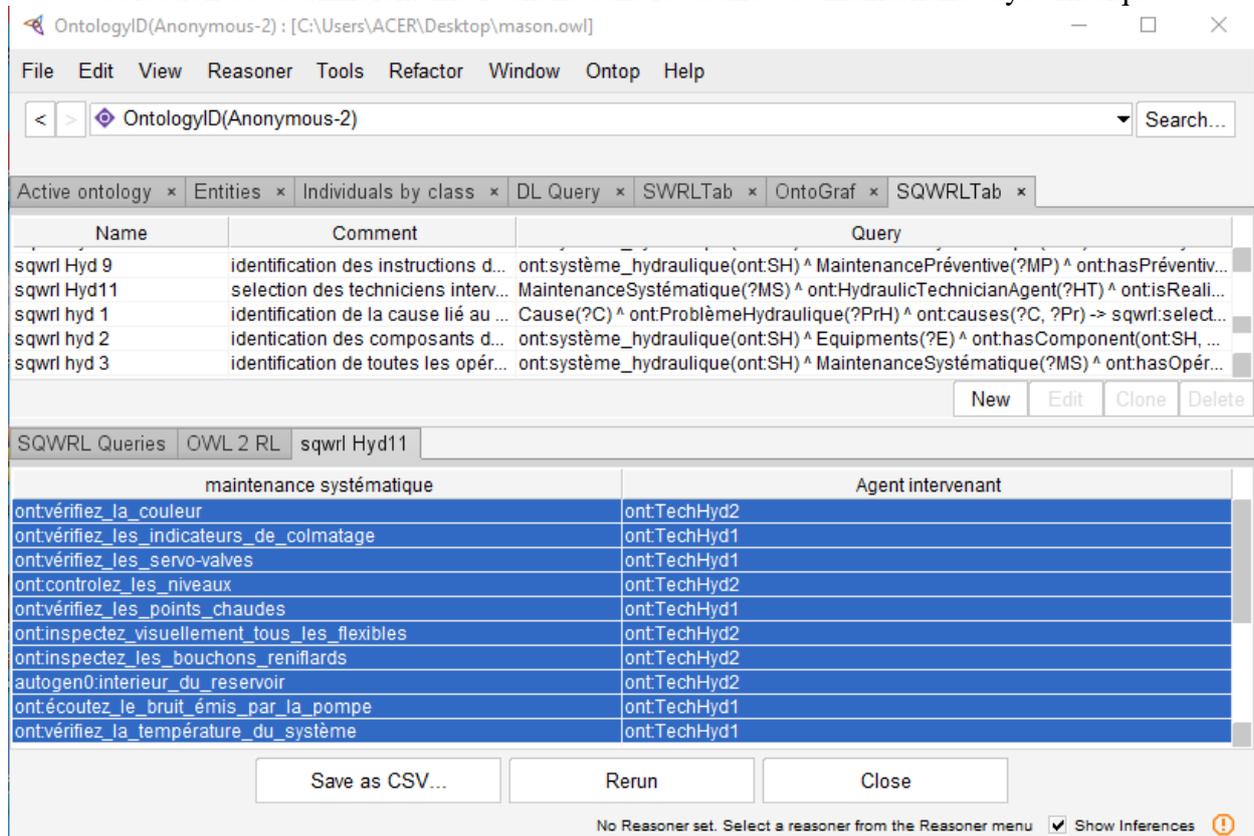


Figure IV.16: Sélection des agents intervenant par SQWRL

- identification des instructions de la maintenance préventive pour le système hydraulique

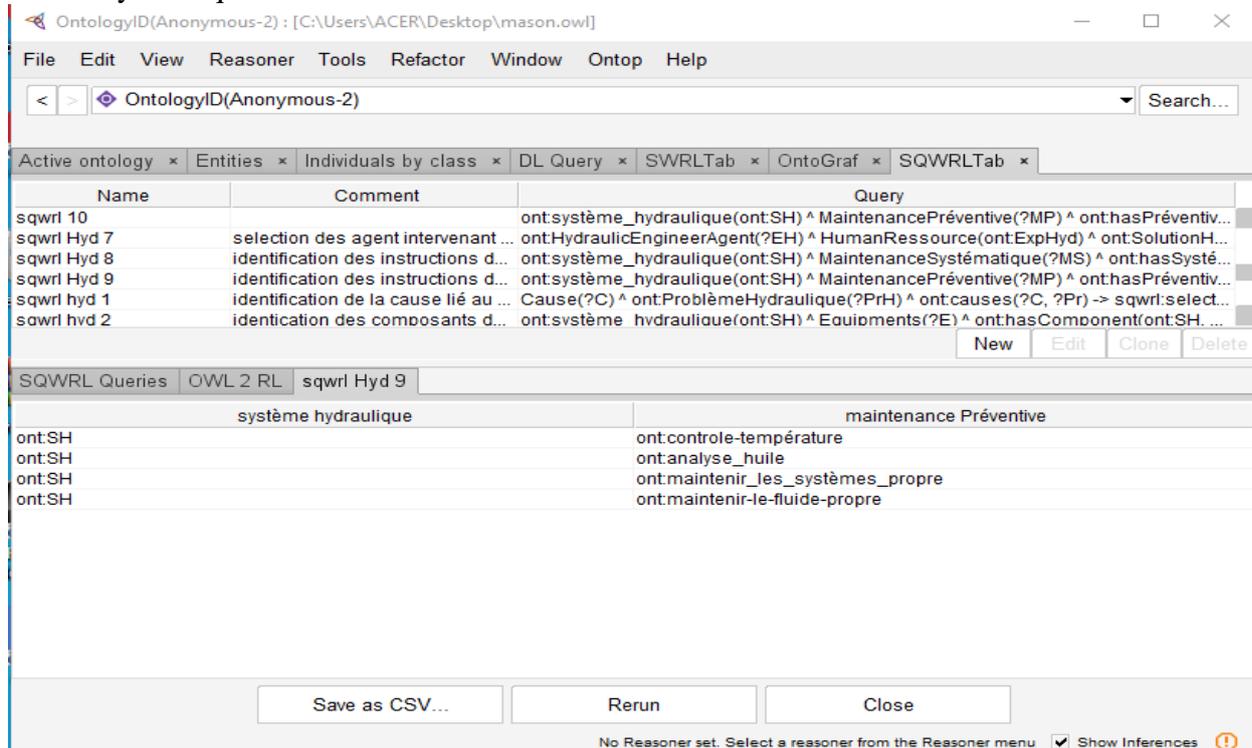


Figure IV.17: Tache de maintenance préventive par SQWRL

IV.6 Conclusion

Nous avons développé un système à base de connaissances pour attribuer la stratégie de maintenance adéquate à chaque équipement industriel tout en respectant le rôle de chaque équipement. Les résultats du modèle proposé sont validés avec une base de connaissance réelle collectée de l'AQS d'Emilia. Notre système proposé est original, un exemple d'un système hydraulique est présenté en détail, il produit une hiérarchisation efficace des équipements industriels et non pas un simple classement.

En outre, nous avons utilisé le langage OWL pour la modélisation des connaissances du domaine et les règles SWRL pour la modélisation des connaissances d'inférence, et pour la sélection des choix de ressources et type de maintenance, nous avons utilisé les requêtes SQWRL, ce système permet aux responsables de la maintenance de choisir la meilleure stratégie de maintenance pour chaque équipement industriel. Il permet de garantir une haute disponibilité des équipements industriels de l'AQS et principalement ceux qui ont une criticité élevée.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au développement d'un modèle de gestion des connaissances pour l'amélioration de système d'information utilisé dans la gestion de la maintenance industrielle.

Nous avons appliqué l'ontologie des tâches de fabrication MASSON pour la maintenance de système équipements industriels, le système utilise tous les concepts importants du domaine de fabrication, *entité, opération et ressources*.

Un exemple d'application détaillé pour la maintenance de système hydraulique. La phase de modélisation utilisant le langage OWL, la phase de raisonnement par les règles SWRL et la phase d'implémentation des connaissances de domaine et d'inférence par l'éditeur Protégé. L'éditeur Protégé prend en charge les règles SWRL, comme le raisonneur Pellet et l'utilisation de l'API OWL.

Enfin, nous avons utilisé JESS (Java Expert System Shell) pour développer des connaissances d'inférence et nous avons utilisé JessTab pour la combinaison entre la connaissance du domaine (MASSON) et l'inférence de domaine (JESS). Pour l'interrogation de notre ontologie, nous avons utilisé la requête SQWRL pour la sélection des connaissances de l'ontologie MASSON par les requêtes SQWRL pour la maintenance du système hydraulique.

Pour faciliter l'utilisation de notre processus de partage des connaissances au niveau de la société AQS.

Nous sommes convaincus que ce modèle de gestion des connaissances manufacturier servira à conserver la mémoire de l'AQS, la réalisation de système d'aide à la maintenance peut se révéler concrètement utile pour favoriser le partage de connaissances entre les experts et tous les agents de maintenance pour gérer le savoir-faire opérationnel des experts de domaine.

Bibliographies**A**

[Anor, 2001] Maintenance terminology. European standard, NF EN 13306, 2001

[Boucly, 1990] Boucly F., Le management de la maintenance assistée par ordinateur, Afnor, 1990.

Azmee, N. N., Kassim, N. A., Abdullah, C. Z. H., & Campus, P. P. (2017).

Dimensions of Knowledge Management Maturity: Top Management Support and Leadership, People, and Information Technology. *Dimensions*, 7(2), 1-7.

Aamodt, A. and Plaza, E. (1994) 'Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches', *AI Communications*, vol. 7, No. 1, pp. 39–59.

Arias, M., Fernández, J. D., Martínez-Prieto, M. A., & de la Fuente, P. (2011). An empirical study of real-world SPARQL queries. arXiv preprint arXiv:1103.5043.

B

Brockmans, S., Colomb, R. M., Haase, P., Kendall, E. F., Wallace, E. K., Welty, C., & Xie, G. T. (2006, November). A model driven approach for building OWL DL and OWL full ontologies. In *International Semantic Web Conference* (pp. 187-200). Springer, Berlin, Heidelberg.

Bimba, A. T., Idris, N., Al-Hunaiyyan, A., Mahmud, R. B., Abdelaziz, A., Khan, S., & Chang, V. (2016). Towards knowledge modeling and manipulation technologies: A survey. *International Journal of Information Management*, 36(6), 857-871.

C

[Cuignet, 2002] Cuignet R., Management de la maintenance : améliorez les performances opérationnelles et financières de votre maintenance. Dunod, Paris, 2002.

Chandrasekaran, B., Josephson, J. R., & Benjamins, V. R. (1999). What are ontologies, and why do we need them?. *IEEE Intelligent systems*, (1), 20-26.

Campuzano, F., Garcia-valverde, T., Serrano, E. and Botia, J.A. (2014) 'Generation of human computational models with knowledge engineering', *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 35, pp. 259-276.

D

[Despujols, 2004] Despujols A., Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF).

Techniques de l'Ingénieur, MT 9 310, 2004.

Davenport, T. H., & Prusak, L. (1998). Working knowledge: How organizations manage what they know. Harvard Business Press.

E

[Eriksson, 2000] Eriksson A.E. et Penker M., Business Modeling with UML-Business Patterns at Work, John Wiley & Sons, New York, 2000.

Ermine, J.L. (1996) Les systèmes de connaissances, éditions Hermès, France.

F

[Francastel, 2001] Francastel J.C., Externalisation de la maintenance : Stratégies, méthodes et contrats. Dunod, Paris, 2003.

[Frédéric, 2003] Frédéric M., Mettre en œuvre une GMAO. Dunod, Paris, 2003.

Fellbaum, C., Hahn, U., & Smith, B. (2006). Towards new information resources for public health—from Word Net to Medical Word Net. *Journal of Biomedical Informatics*, 39(3), 321–332.

G

Guarino, N. (1997). Understanding, building and using ontologies. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(2-3), 293-310.

Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International journal of human-computer studies*, 43(5-6), 907-928.

Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.

Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International journal of human-computer studies*, 43(5-6), 907-928.

Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.

Girard, J., & Girard, J. (2015). Defining knowledge management: Toward an applied compendium. *Online Journal of Applied Knowledge Management*, 3(1), 1-20.

George S. and Karapistolis, D.(2014) ‘Tourist Destination Marketing Supported by Electronic Capitalization of Knowledge’, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* , Vol. 148, pp. 110 – 118 .

H

Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., & Dean, M. (2004). SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. *W3C Member submission*, 21(79), 1-31.

Hunter Alarcon, R., Rios Chueco , J., Perez Garcia, J.M. and Vizan Idoipe, A. (2010) ‘Fixture knowledge model development and implementation based on a functional design approach’, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 26,No.1, pp. 56–66.

I

K

Kosanke, K., Vernadant, F. and Zelm, M. (1999) ‘CIMOSA: enterprise engineering and integration’, *Computers Industry*, Vol. 40, No. 2-3, pp.83–97.

L

Lawley, M. J., & Bousquet, C. (2010, December). Fast classification in Protégé: Snorocket as an OWL 2 EL reasoner. In *Proc. 6th Australasian Ontology Workshop (IAOA'10). Conferences in Research and Practice in Information Technology* (Vol. 122, pp. 45-49).

Lakhfif, A., & Laskri, M. T. (2015). A frame-based approach for capturing semantics from Arabic text for text-to-sign language MT. *International Journal of Speech Technology*.

Lin, L. F., Zhang, W. Y., Lou, Y. C., Chu, C. Y., & Cai, M. (2011). Developing manufacturing ontologies for knowledge reuse in distributed manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 49(2), 343-359.

Lemaignan, S., Siadat, A., Dantan, J. Y., & Semenenko, A. (2006, June). MASON: A proposal for an ontology of manufacturing domain. In *IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications (DIS'06)* (pp. 195-200). IEEE.

M

[Monchy, 2000] Monchy F., Maintenance - méthodes and organization. Dunod, Paris, 2000.

Musen, M. A. (2015). The knowledge acquisition workshops: a remarkable convergence of ideas. *International Journal of Human-Computer Studies*, 71(2), 195-199.

N

Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. Stanford Medical Informatics technical report no.SMI-2001-0880. Available from:

www.smi.stanford.edu/projects/protege/publications/ontology_development/ontology_101.pdf [Accessed 3 March 2008].

Nonaka, I. and Takeuchi, H. (1995) *the Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford University Press, USA.

Nonaka, I., Toyama, R., & Konno, N. (2000). SECI, Ba and leadership: a unified model of dynamic knowledge creation. *Long range planning*, 33(1), 5-34.

Negnevitsky, M. (2005). *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. Pearson Education.

O

O'Dell, C., & Grayson, C. J. (1998). *If only we knew what we know: the transfer of internal knowledge and best practice*. New York: Free Press.

O'Connor, M. J., & Das, A. K. (2009, October). SQWRL: a query language for OWL. In *OWLED* (Vol. 529, No. 2009).

P

[Piechowiak, 2003] Piechowiak S., Intelligence artificielle et diagnostic. *Techniques de l'ingénieur*, S 7 217, décembre, 2003.

Petrash, G. (1996) "Managing knowledge assets for value," *Knowledge-Based Leadership Conference*, pp. 18–38.

R

[Rasovska et al., 2004a] Rasovska I., Chebel-Morello, B. et Zerhouni N., A conceptual model of maintenance process in unified modelling language. *Proc. of the*

11th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'2004, Salvador-Bahia, Brésil, 2004a.

[Rasovska et al., 2004b] Rasovska I., Chebel-Morello B. et Zerhouni N., Modélisation des connaissances de maintenance : aide au diagnostic et à la réparation. Proc. du 5^{ième} Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation MOSIM, Nantes, France, 2004b.

[Retour et al., 1993] Retour D., Bouche M. et Plauchu V., Où va la maintenance industrielle.

S

[Spadoni, 2004] Spadoni M., Système d'information centré sur le modèle CIMOSA dans un contexte d'entreprise étendue, JESA, Volume 38, n° 5, pp. 497-525, 2004.

Schreiber, G., Wielinga, B., Akkermans, H., Van de Velde, W., & Anjewierden, A. (1994, September). CML: The CommonKADS conceptual modelling language. In *International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management* (pp. 1-25). Springer, Berlin, Heidelberg.

Sirin, E., Parsia, B., Grau, B. C., Kalyanpur, A., & Katz, Y. (2007). Pellet: A practical owl-dl reasoner. *Web Semantics: science, services and agents on the World Wide Web*, 5(2), 51-53.

Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: principles and methods. *Data & knowledge engineering*, 25(1-2), 161-197.

Schreiber, A. T., Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., Shadbolt, N., de Hoog, R., & Wielinga, B. (2000). Knowledge engineering and management: the CommonKADS methodology. MIT press.

Semere, D. T., Dilshad, S., & Lindberg, B. (2007). Machining ontology and knowledge modelling. In *Swedish Production Symposium*.

Serrat, O. (2009). Glossary of Knowledge Management Knowledge Solutions: Asian Development Bank.

Schreiber, G. (2000) Knowledge engineering and management: the CommonKADS methodology, MIT press.

Schreiber, G. (2000) Knowledge engineering and management: the CommonKADS methodology, MIT press.

Schreiber, G., Akkermans, H., (2002). Knowledge engineering and management: the CommonKADS methodology, London: The MIT Press.

Selva, D., & Crawley, E. F. (2012). A rule-based decision support tool for architecting Earth observing missions. In Paper presented at the aerospace conference, 2012 IEEE.

Selva, D., Cameron, B., & Crawley, E. F. (2014). A rule-based method for scalable and traceable evaluation of system architectures. *Research in Engineering Design*, 25(4), 325–349.

T

Titah, M., Mouss, M. D. M., & Aitouche, S. (2014). An implementation tool for the expertise model using CommonKADS methodology. In *The Sixth International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, eKNOW*.

Titah, M., Aitouche, S., Mouss, M. D., & Soussa, A. (2017). Externalising and reusing of tacit knowledge in manufacturing task. *International Journal of Knowledge Management Studies*, 8(3-4), 351-374.

Titah, M. (2021). Amélioration d'un processus de capitalization et de partage des connaissances pour la maximization de la valeur d'un système de production.

U

Uriarte, F. A. (2008). *Introduction to Knowledge Management: A brief introduction to the basic elements of knowledge management for non-practitioners interested in understanding the subject*. Jakarta, Indonesia: ASEAN Foundation.

V

Van Heijst, G., Schreiber, A. T., & Wielinga, B. J. (1997). Using explicit ontologies in KBS development. *International journal of human-computer studies*, 46(2-3), 183-292.

[Vernadat, 1996] Vernadat F., *Enterprise Modeling and Integration : Principles and Applications*. Chapman & Hall, London, 1996.

Vogel, C. (1990). *KOD : la mise en œuvre*, Editions Masson, Paris.

W

Wang, Y. (2008). On concept algebra: a denotational mathematical structure for knowledge and software modeling. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence (IJCINI)*, 2(2), 1–19.

[Wikipedia, 2005] Disponible sur: <http://fr.wikipedia.org>.

X

Y

Z

Zhang, Q. A., & Mahfouf, M. (2011). A hierarchical Mamdani-type fuzzy modelling approach with new training data selection and multi-objective optimisation mechanisms: a special application for the prediction of mechanical properties of alloy steels. *Applied Soft Computing*, 11(2), 2419–2443.

Sites Web

<http://www.cs.man.ac.uk/~sattler/reasoners.html>, Consulté le 01/06/2022

<https://webprotege.stanford.edu/>, Consulté le 20/04/2022

<http://www.cs.man.ac.uk/~sattler/reasoners.html>, Consulté le 03/05/2022

<http://www.ontologyworks.com/products/iode>, Consulté le 04/06/2022

<http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>, Consulté le 21/03/2022

<https://www.w3.org/Submission/SWRL/>, Consulté le 15/04/2022

<http://www.jessrules.com/>, Consulté le 10/05/2022

<https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Pellet>, Consulté le 10/05/2022