UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA
BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : Sciences d'ingénieur
Département : Informatique

Modélisation et gestion de la maintenance dans les systèmes de production

THESE

Pour l'obtention du

Diplôme de Doctorat

(Spécialité informatique)

Présentée par :

Mme : Laallam Fatima Zohra

Mr Mohamed Tayeb Larskri	Professeur	Président	Université Badji Mokhtar Annaba
Mr Sellami Mokhtar	Professeur	Promoteur	Université Badji Mokhtar Annaba
Mr Zerhouni Noureddine	Professeur	Membre	Université de Besançon France
Mr Chikhi Salim	Maître de conférence	Membre	Université de Constantine
Mr Kholadi Mohamed Kheireddine	Maître de conférence	Membre	Université de Constantine
Mr Khadir Tarek	Maître de conférence	Membre	Université Badji Mokhtar Annaba

Novembre 2007

DEDICACE

A ma mère qui a sacrifié toute sa vie pour moi et mes sœurs.

A mon époux auquel je dois tant

A mes enfants

A mes sœurs

A ma famille

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance au Professeur Sellami Mokhtar pour son encadrement et son soutien tout en long de ce travail m'offrant ainsi la possibilité de mener à bien cette thèse.

Je tiens aussi à remercier Mr Hamid Bessalah directeur du CDTA auquel je dois beaucoup.

Je remercie également Mr le recteur de l'université Badji Mokhtar Annaba le professeur Mohamed Tayeb Larskri d'avoir accepter de présider le jury. J'adresse mes remerciements à Mr Zerhouni Noureddine professeur à l'université de Besançon France, Mr Chikhi Salim maître de conférence à l'université de Constantine, Mr Kholadi Mohamed Kheireddine maître de conférence à l'université de constantine et Mr Khadir Tarek maître de conférence à l'université Badji Mokhtar Annaba d'avoir accepter de juger cette thèse.

Merci à Monsieur Saleh Khanour chargé de cours à la Faculté des lettres et des sciences humaines à l'Université Kasdi MerbAh Ouargla pour la lecture attentive de cette thèse.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Résumé :

L'activité de supervision et de contrôle des turbines à gaz dans les processus industriels est une tache très complexe et nécessite une grande expérience. Cette expérience est acquise au fil des années, ce qui fait du départ d'un expert en retraite une grande perte du savoir faire. De même, ces experts ne sont pas disponibles à tout moment et dans chaque site. Le problème consiste donc à capturer ce savoir faire et permettre ainsi un cumule d'expérience dans le but de la construction d'une mémoire d'entreprise. On propose une approche à base d'ontologie, pour capturer ce savoir faire, que nous avons appelée MACE (Méthode d'Analyse et de Conception des Connaissances).

Le travail présenté donc concerne l'ingénierie ontologique, et plus particulièrement l'utilisation des ontologies dans les systèmes à base de connaissances.

Après une étape de construction, qui a aboutit à un modèle formel en utilisant un modèle sémantique ; nous avons procédé à l'opérationnalisation de l'ontologie conçue. Grâce à l'éditeur d'ontologies Protégé2000, l'ontologie a été traduite dans un langage lisible par la machine pour obtenir l'ontologie «OntoTurb-Protégé2000 ». Pour permettre l'exploitation de cette ontologie, on a procédé à la modèlisation de l'inférence en se basant sur la spécification de l'objectif opérationnel par scénario d'usage. Enfin l'outil JessTab est utilisé pour l'intégration des contextes d'usage dans JESS. On a obtenu ainsi notre système d'aide au diagnostic « OntoTurb-Expert » dont le but n'est pas de résoudre automatiquement le problème de diagnostic, mais d'aider l'utilisateur en lui fournissant les informations appropriées et en lui laissant la responsabilité d'une évaluation contextuelle de ces informations.

Mots clés :

Turbine à gaz industrielle, Diagnostic de panne, Ontologies, MERISE, modèle sémantique, Système à base de connaissances, gestion des connaissances, Kads, protégé-2000, Jess, JessTab.

Abstract

The activity of supervision and control of the industrial processes is a very complex spot and require a great experiment. This experiment is acquired with the passing of years. What makes departure of an expert retired a great loss of the know-how. The problem thus consists in capturing this know-how and allows experiment to be cumulate with an aim of construction of an enterprise memory. We propose an approach based on ontology, to capture this know-how, which we have named MACE. The work presented in this thesis relates to ontological engineering and more particularly the use of ontologies in the knowledge-based systems.

After a step of construction, witch lead to a formal model by using a semantic model; we proceeded to the operationnalisation of conceived ontology. By using the Protégé2000 editor of ontologies, the ontology was translated in a language machine-readable to obtain ontology "OntoTurb-Protégé2000". To allow the exploitation of this knowledge, we have proceeded to the modeling of the inference basing on the specification of the operational objective by scenario of use. the JessTab tool was used for the integration of the contexts of use in JESS. We have obtained thus our system of assistance to the diagnosis "OntoTurb-Expert" of which the goal is not to solve the problem of diagnosis automatically, but to help the user by providing him suitable information and by leaving him the responsibility for a contextual evaluation of this information.

Key words:

Industrial gas turbine, Diagnosis of breakdown, Ontology, MERISE, semantic model, Knowledge based system, Knowledge Management, KADS, protégé-2000, Jess, JessTab.

ملخص:

إن عملية التحكم و مراقبة العنفات الغازية الصناعية مهمة جد معقدة و نحتاج إلى خبرة كبيرة. هذه الخبرة يتم اكتسابها عبر سنوات طوال، مما يجعل إحالة الخبراء في هذا المجال على التقاعد خسارة كبيرة للمعرفة المكتسبة داخل المؤسسة، من جهة أخرى هؤلاء الخبراء ليسوا جاهزين في كل وقت وفي كل مكان نحتاجهم فيه. المشكل المطروح إذا هو كيف يمكن أن نستخرج هذه المعرفة ونحافظ عليها في ذاكرة المؤسسة من أجل استغلالها والاستفادة منها.

نقترح من أجل ذلك طريقة تعتمد على ما يسمى أونطولوجيا. حيث يتم استعمال الأونطولوجيات في أنظمة المعارف.

بعد مرحلة إنشاء تصوري للأونطولوجيا تم ترجمتها إلى لغة تفهمها الآلة باستعمال الأداة« Protégé2000». ومن أجل استغلال الانطولوجيا التي تم إنشاؤها دمجنا الأداة "Jess" مع الأداة « Protégé2000» لنتحصل على "JessTab " الأداة التي مكنتنا من إنشاء نظام معرفي يوفر للمستعمل المعني بتشخيص العطب معلومات مبنية على التجارب السابقة، تمكنه من تحليل وضع غير طبيعي وتساعده على أخذ القرارات .

الكلمات المفاتيح:

العنفات الغازية الصناعية ، تشخيص العطب، أونطولوجيا، أنظمة المعارف, MERISE ، Protégé2000 ، "Jess"، "JessTab"، KADS،

Liste des tableaux

2.1	Parc turbine à gaz SONELGAZ	20
2.2	Activité transport pour une canalisation de 16 355 Km (SONATRACH)	21

Liste des figures

2.1	Les types de maintenances	8
2.2	propagation de pannes causalement reliées	11
2.3	Schéma d'un groupe turbine à gaz	15
2.4	Usure des ailettes d'une TG (Bechar SONELGAZ)	19
3.1	Gestion des connaissances	28
3.2	Des données aux connaissances	30
3.3	Les approches d'acquisition des connaissances	35
3.4	Les phases de développement d'un système à base de connaissances dans KADS	40
3.5	Modèles et paradigme KOD	41
3.6	Structure d'une fiche REX	44
3.7	Système et modèle	50
3.8	Le cycle de vie de la mémoire d'entreprise	54
4.1	Cycle de vie d'une ontologie	69
4.2	processus de construction d'une ontologie exploitable au sein d'un SBC	70
4.3	Cadre d'analyse des méthodologies recensées	72
4.4	Opérationnalisation d'une ontologie	75
4.5	Distinction des connaissances à deux niveaux	81
5.1	Un processus d'acquisition des connaissances	89
5.2	Modèle sémantique représentant une partie de l'ontologie OntoTurb	94
5.3	Processus d'opérationnalisation de l'ontologie OntoTurb	96
5.4	Processus d'aide au pronostic	97
5.5	Le scénario d'usage	98
5.6	Architecture générale du système de gestion des connaissances	100
6.1	Relation entre Metaclass, classe et instance	103
6.2	Présentation d'une ontologie dans Protégé2000	104
6.3	Représentation d'un formulaire d'acquisition des connaissances	105
6.4	Origines de JESS, Protégé et JessTab	108
6.5	Fenêtre de JESS dans protégé	109
6.6	Définition de la classe paramètre	110

6.7	Une instance de la classe pompe à huile auxiliaire	*111*
6.8	Transfert Protégé représentation en JESS représentation	*112*
6.9	La base des faits de « OntoTurb-expert »	*113*
6.10	Modèle des faits correspondent à des instances Protégé	*114*
6.11	Représentation de la hiérarchie de meta-classes dans « OntoTurb »	*119*
6.12	Définition des slots de la classe instrument	*120*
6.13	Les instances de la classe thermocouple dans « OntoTurb »	*121*
6.14	Représentation des facettes du slot composant du système dans « OntoTurb »	*122*
6.15	Exemple de diagnostic concernant l'instrument commutateur de niveau TS2	*123*
6.16	Exemple de diagnostic concernant le thermocouple TC75	*124*
6.17	Mémoire d'entreprise en perspective	*127*

Sommaire

Résumé

Abstract

ماخـص

Liste des tableaux

Liste des figures

Chapitre 1 : Introduction 1

1- Introduction générale 1

2- Problématique 3

3- Objectifs du projet 4

4- Description du contenu 4

Chapitre 2 : La Maintenance des turbines à gaz industrielles

1- Introduction 6

2- La maintenance 6

2.1- Définition de la maintenance 6

2.2- Les critères de maintenabilité 7

2.3- Types de maintenance 8

2.4- Gestion des pannes 10

2.4.1- Définition d'une panne 10

2.4.2- La détection d'une panne 11

2.4.2.1- Notion d'alarme 11

2.4.2.2- Détection d'une panne 12

2.4.3- Le diagnostic de pannes 12

2.4.4- La supervision du système 12

3- Les turbines à gaz 13

3.1- Présentation d'une turbine à gaz 13

3.2- Fonctionnement d'une turbine à gaz 14
3.3- Les composants de bases 15
3.4- Applications industrielles des turbines à gaz 17
3.5- Problèmes majeurs rencontrés dans les turbines à gaz 18
3.6- Le parc turbines à gaz industrielles en Algérie 20
3.7- Importance de la maintenance des turbines à gaz 21
Conclusion 21

Chapitre 3 : La gestion de la connaissance

1- Introduction 23
2- De l'ingénierie à la gestion des connaissances 24
2.1- L'ingénierie des connaissances 24
2.1.1-Définition de l'ingénierie des connaissances 24
2.1.2- Objectifs de l'ingénierie des connaissances 24
2.1.3- Méthodes de l'ingénierie des connaissances 25
2.2- La gestion des connaissances 26
2.2.1-Définition de la gestion des connaissances 26
2.2.2- Objectifs de la gestion des connaissances 27
2.3- Conception de la gestion des connaissances 28
3- Gestion de la connaissance dans l'entreprise 29
3.1- De l'information à la connaissance 29
3.2- La connaissance dans l'entreprise 30
3.3- Typologies des connaissances 31
4- Acquisition des connaissances 33
4.1- Les systèmes experts 33
4.2- Approches d'acquisition des connaissances 34
4.3- L'approche " knowledge level " 35
5- Méthodes de gestion des connaissances 36
5.1- Les approches KADS 37
5.2- La méthode KOD 41

5.3- La méthodologie REX 42
5.4- La méthodologie MKSM 44
5.5- Notre méthode 47
6- Modélisation de la connaissance 49
6.1- Notion de Modélisation 49
6.1.1- Modèles et systèmes 49
6.1.2- Objectifs de la modélisation 50
6.2- Représentation de la connaissance 51
6.2.1- Problème de la représentation de la connaissance 51
6.2.2- Modèles de la représentation de la connaissance 51
7- Mémoire d'entreprise 52
7.1- Définition 53
7.2- Le cycle de vie de la mémoire d'entreprise 53
7.3- Typologies des mémoires d'entreprise 55
7.4- Approches pour l'élaboration d'une mémoire d'entreprise 56
7.4.1- Mémoire d'entreprise documentaire 56
7.4.2- Mémoire d'entreprise à base de connaissances 57
7.4.3- Mémoire d'entreprise à base de cas 57
7.4.4- Notre approche 58
Conclusion 58

Chapitre 4 : Les ontologies

1- **Introduction** 60
2- Notion d'ontologie et d'ingénierie ontologique 60
2.1- Notion d'ontologie 61
2.2- Notion d'ingénierie ontologique 62
2.3- Les concepts manipulés dans une ontologie 63
2.4- Classification des ontologies 64
2.4.1- Classification selon le vocabulaire de termes 64

2.4.2- Classification selon l'objet de conceptualisation 65
3- Modèles à base d'ontologie 66
3.1- Le modèle des Frames 66
3.2- Les Logiques de Description 67
3.3- Le modèle des Graphes Conceptuels 68
4- Construction d'une ontologie 68
4.1- Cycle de vie d'une ontologie 68
4.2- Les méthodologies de construction d'ontologies 71
4.2.1- Méthodologies de construction d'ontologies 71
4.2.2- Les approches de construction d'ontologies 72
4.3- Etapes suivis lors de la construction d'une ontologie 73
4.3.1- La conceptualisation 73
4.3.2- L'ontologisation 73
4.3.3- L'opérationnalisation 74
4.4- Evaluation d'une ontologie 76
4.4.1- Critères d'évaluation d'une ontologie 76
4.4.2- Validation d'une ontologie 77
4.5- Les outils de construction d'ontologies 78
5- Domaines d'application des ontologies 80
5.1- Les systèmes à base de connaissances 80
5.2- Le Web sémantique 81
Conclusion 84

Chapitre 5 : La conception d'une ontologie OntoTurb

1- Introduction 85
2- Objectifs de la conception de notre ontologie OntoTurb 86
3- Approche de modélisation de la connaissance 87
4- Construction de l'ontologie OntoTurb 88
4.1- Processus d'acquisition des connaissances 88

4.2- La conceptualisation de l'OntoTurb 90
4.3- L'ontologisation de OntoTurb 92
4.3.1- Formalisation de OntoTurb 92
4.3.2- Le modèle conceptuel des connaissances 94
5- L'opérationnalisation de OntoTurb 95
5.1- Processus d'opérationnalisation envisagé 96
5.2- Le scénario d'usage 97
5.3- Représentation des axiomes en logique 99
6- Architecture du système de gestion des connaissances 100

Chapitre 6 : Implémentation

1- Environnement de développement 101
1.1- Introduction 101
1.2- Présentation du Protégé 2000 101
1.3- JESS 105
1.4- Jess-Tab 107
2- Réalisation 109
2.1- La définition du vocabulaire conceptuel dans JessTab 109
2.2- Construction de la base des faits 111
2.3- La spécification des axiomes dans JessTab 114
2.4- Description de l'ontologie 116
2.5- Présentation de l'application 118
2.6- Exemples extraits de l'application 118
3- Evaluation 124
3.1- Evaluation qualitative 124
3.2- Evaluation quantitative 125

Conclusion & perspectives 126
Références bibliographiques 128
Annexe A 134
Annexe B 135

Annexe C 151
Annexe D 155

CHAPITRE 1

Introduction

1- Introduction générale

L'activité de supervision et de contrôle des turbines à gaz industrielles [IAP 69] est une tache très complexe et nécessite une grande expérience. Cette expérience est acquise au fil des années, ce qui fait du départ d'un expert en retraite une grande perte du savoir faire. De même, ces experts ne sont pas disponibles à tout moment et dans chaque site.

Le problème consiste donc à capturer ce savoir faire et permettre ainsi un cumule d'expérience, dans le but de la construction d'une mémoire d'entreprise (d'un système d'aide au diagnostic). Ce qui permettra de prédire l'apparition future d'un incident (pronostic) suite à des dérives subites par certains paramètres (situations anormales par rapport aux situations habituelles de marche normale) et de réduire ainsi au maximum le temps d'arrêt des équipements pour limiter les pertes de production d'une part et réduire les coûts de maintenance d'autre part.

L'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication a sans doute contribuée dans l'évolution des systèmes de surveillance et de contrôle des installations industrielles.

Il s'agit alors de considérer le diagnostic comme un processus permanent et dynamique se déroulant en parallèle avec la vie d'une installation. Ceci relève du domaine de la « gestion des connaissances » (Knowledge Management) orientée réutilisation, et dont l'objectif

est de mettre le savoir-faire d'un individu et de ses connaissances au service de toute une communauté d'individus. Cependant, contrairement aux systèmes experts, et au lieu de viser une résolution automatique pour une tâche avec des capacités automatiques de raisonnement, une mémoire d'entreprise doit plutôt aider l'utilisateur en lui fournissant des informations appropriées de l'entreprise tout en lui laissant la responsabilité d'une évaluation contextuelle de ces informations.

La gestion des connaissances s'occupe ainsi d'identifier, collecter, capitaliser et diffuser les connaissances d'une entreprise. La mémoire d'entreprise, support privilégié de la gestion, se situe en effet dans un contexte de très long terme, puisqu'elle vise à capitaliser des connaissances, dans le but de pouvoir les réutiliser en dehors de leur contexte d'origine et pour des objectifs différents.

Le travail présenté dans cette thèse concerne l'ingénierie ontologique, et plus particulièrement l'utilisation des ontologies dans les systèmes à base de connaissances. Nous avons essayé de construire une ontologie turbine à gaz «OntoTurb » concernant le domaine de maintenance industrielle et plus particulièrement le domaine de diagnostic de pannes dans les turbine à gaz industrielles. Après une étape de conceptualisation qui a permis l'identification des connaissances contenues dans un corpus représentatif du domaine, une étape d'ontologisation a permis de formaliser les connaissances identifiées (sous forme d'une ontologie) en utilisant un modèle sémantique. Une dernière étape appelée opérationnalisation a permis la transcription de l'ontologie dans un langage formel et opérationnel de représentation de connaissances. Pour l'opérationnalisation de l'ontologie l'éditeur de bases de connaissances Protégé2000 est utilisé pour représenter l'ontologie sur machine. Cet éditeur ne permet pas de faire du raisonnement sur l'ontologie conçue. Un autre outil appelé Jess a été couplé à protégé2000 pour donner un nouvel outil JessTab. Nous avons obtenu ainsi un outil efficace qui nous a permis le développement de notre système à base ontologique permettant l'exploitation de notre ontologie.

Le but du système développé est d'aider l'utilisateur dans ces taches de diagnostic, en lui fournissant les informations appropriées et en lui laissant la responsabilité d'une évaluation contextuelle de ces informations.

Les motivations de la construction d'un système d'aide au diagnostic sont diverses :

- Regroupement des compétences.
- Retourner l'expérience et capitaliser le savoir-faire.

- Profiter des NTIC pour améliorer la fonction de maintenance dans la production industrielle.
- Améliorer l'apprentissage et l'intégration des nouveaux dans l'entreprise.
- Augmenter la productivité.
- réduire les incidents de production.
- Aider à l'innovation.
- Optimiser la conduite des procédés.
- Réutiliser l'expérience.
- augmenter la durée de vie des équipements de production.
- Aide à la stratégie, décision et actions.
- Diminuer le coût de la maintenance.
- délais d'intervention réduits.

2- Problématique

Actuellement, les problèmes de maintenance du matériel dans les industries de production sont souvent relégués au second plan face aux impératifs de production. Cette situation est due principalement à une absence de politique de maintenance et aux coûts occasionnés par celle-ci, notamment en terme de mobilité du personnel qualifié effectuant la maintenance. Beaucoup d'entreprises s'aperçoivent, dans des situations nécessitant l'expertise, que personne ne dispose de l'ensemble des connaissances permettant de comprendre comment certains problèmes avaient été résolus. Il semblerait donc que la connaissance, non seulement des équipements et de leur histoire mais aussi du pourquoi et du comment des choix qui ont été faits, soit indispensable à la bonne marche de l'entreprise.

Avec l'arrivée à maturation des nouvelles technologies de l'information et des télécommunications, les entreprises industrielles veulent intégrer ces avancées pour activer les interventions des spécialistes sur site et ainsi diminuer les temps d'inactivité des machines.

L'objectif de notre travail consiste, d'une part, à trouver un moyen de capitaliser l'expérience acquise au fil des années par les spécialistes du domaine. Cette capitalisation va permettre de mettre le savoir-faire d'un individu et de ses connaissances au service de toute une communauté d'individus.

D'autre par notre travail consiste à concevoir et à développer une solution d'expertise et d'aide à la décision pour les responsables de la sécurité des installations industrielles et de la maintenance.

Le travail en lui même s'orientera donc autour de deux axes principaux :

- Conception d'une ontologie de domaine pour la représentation des connaissances
- Développement d'un système intelligent d'aide au diagnostic.

Cette solution doit s'intégrer dans le système d'information de l'entreprise. La plate forme logicielle développée complètera les informations fournies par les systèmes autonomes de surveillance, de supervision et de gestion de la maintenance existant sur le site industriel.

3- Objectifs du projet :

L'objectif du projet consiste à la mise en point d'un système intelligent d'expertise et d'aide à la décision permettant la :

1. Capitalisation des connaissances de diagnostic et de maintenance des turbines à gaz utilisées dans les processus industriels.
2. Consultation et analyse des connaissances.
3. Exploitation des connaissances capitalisées.

Pour atteindre ces objectifs, il faut développés les deux (02) sous projets suivants :

1. **OntoTurb-Protégé-2000** : est une ontologie générique permettant de représenter les connaissances du domaine sous une forme lisible par la machine.
2. **OntoTurb-Expert :** est un système d'aide au diagnostic.

4- Description du contenu

Notre thèse se compose de six chapitres incluant cette introduction et se terminant par une conclusion générale.

Chapitre 2. Ce chapitre met l'accent sur la maintenance des turbines à gaz industrielles. Nous commençons par une présentation des différents aspects de la maintenance ainsi que le problème de diagnostic de pannes. Ensuite nous consacrons ce qui suit à la présentation des installations concernées par la maintenance en mettons l'accent sur l'importance de ces équipements dans le processus industriel.

Chapitre 3. Ce chapitre est consacré à la gestion des connaissances en mettant l'accent sur les problèmes d'acquisition et de modélisation des connaissances ainsi que les différentes approches pour l'élaboration d'une mémoire d'entreprise informatisée. Nous terminons par une représentation de notre approche.

Chapitre 4. Nous présentons dans ce chapitre, la notion d'ontologie et d'ingénierie ontologique en mettant l'accent sur les étapes de construction d'une ontologie et les modèles à bases ontologiques. Nous terminons par une présentation des domaines d'application des ontologies.

Chapitre 5. C'est dans ce chapitre que nous exposons notre approche de modélisation des connaissances. Nous commençons par la présentation des objectifs de notre ontologie puis nous détaillons les étapes qui ont permis la construction de notre ontologie « OntoTurb-Protégé2000 » et son intégration dans un système à base de connaissance pour la réalisation du système d'aide au diagnostic « OntoTurb-Expert ». Nous terminons par l'architecture de notre système de gestion des connaissances.

Chapitre 6. Dans ce chapitre, nous présentons l'environnement de développement (protègé2000, Jess et JessTab) ainsi que la réalisation de notre système d'aide au diagnostic « OntoTurb-Expert ».

CHAPITRE 2

La Maintenance des turbines à gaz industrielles

1- Introduction

Dans un contexte économique concurrentiel, les entreprises cherchent à fiabiliser et à optimiser le fonctionnement de leurs installations. Les entreprises doivent améliorer la productivité en garantissant la disponibilité et la qualité de leur outil de production d'une part, et de remplir les obligations de sécurité d'autre part. La maintenance des installations industrielles est donc au cœur des préoccupations des exploitants.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la maintenance des turbines à gaz industrielles. Dans un premier temps nous allons traiter les différents aspects de la maintenance puis nous essayerons de montrer l'importance d'utilisation de ces équipements dans le processus industriel.

2- la maintenance

2.1- Définition de la maintenance

La Maintenance est ensemble d'actions tendant à prévenir ou à corriger les dégradations d'un matériel afin de maintenir ou de rétablir sa conformité aux spécifications. Pour une unité de production cette maintenance devrait permettre une contribution maximale à une meilleure efficacité et une meilleure rentabilité. Toutefois, elle à été jusqu'au années 1980, considérée par un grand nombre d'entreprises comme une activité non productive et par conséquent non stratégique [Tal 03]. Au cours des vingt dernières années, la maintnance a considérablement évoluée. Actuellement, elle constitue l'un des vecteurs essentiels de compétitivité des entreprises [Tal 03].

- **Quelques concepts liés à la maintenance :**

- **Diagnostic** : identification d'une panne par ses symptômes.
- **Expertise** : intervention, opération d'un expert, évaluation de l'état d'un équipement.
- **Pronostic** : Prévision, supposition sur ce qui doit arriver sur l'équipement

2.2- Les critères de maintenabilité

Les normes NF X 60-300 et X 60-301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité :

1. Le premier critère est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démontrabilité et son interchangeabilité.
2. Le deuxième est relatif à la maintenance corrective, plus particulièrement, le temps de recherche de panne ou de défaillance et le temps de diagnostic.
3. Le troisième critère est relatif à l'organisation de la maintenance, pris en compte par la périodicité du préventif, le regroupement à des périodes identiques, l'homogénéité de la fiabilité des composants, la présence d'indicateurs et de compteurs et la complexité des interventions.
4. Le quatrième critère est lié à la qualité de la documentation technique. Celui-ci comporte la valeur du contenu, la disponibilité de la documentation, le mode de transmission et les principes généraux de rédaction et de présentation de la documentation technique.

5. Le dernier critère de maintenabilité est lié au suivi du bien par le fabricant. Il sera question de l'évolution du fabricant, de la qualité du service après-vente et de l'obtention des pièces de rechange. [Hed 01]

2.3- Types de maintenance

Il existe plusieurs types de maintenance parmi elles, on peut distinguer :

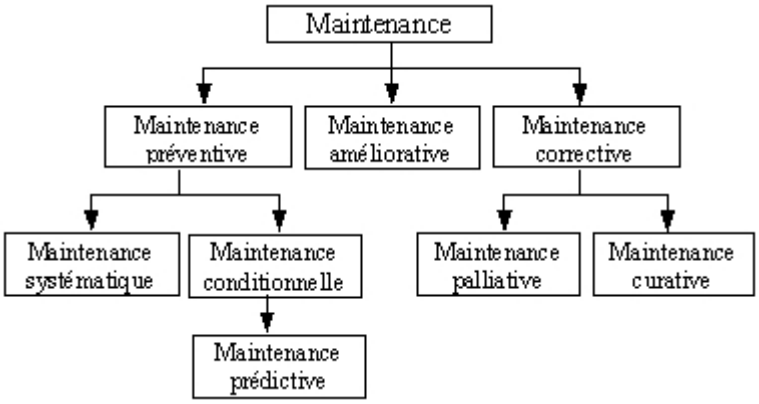


Figure 2.1 : Les types de maintenances.

- **La maintenance préventive :**

Effectuée périodiquement de façon préventive, elle permet d'améliorer la fiabilité des installations mais n'évite pas les pannes. Elle ne prend pas en compte l'état d'usure des pièces remplacées, entraîne des démontages et remontages préjudiciables à la durée de vie et à la fiabilité des équipements ainsi qu'une indisponibilité pour la réalisation des travaux. Enfin, les stocks de pièces de rechange et la main d'œuvre nécessaires à la réalisation des travaux représentent un coût important. Il existe deux principaux types de maintenance préventive : • Maintenance préventive systématique (l'entretien de l'équipement est effectué périodiquement). • Maintenance préventive conditionnelle (l'intervention de techniciens dépend de l'état de l'équipement) [Ivan 03].

- **La maintenance curative ou corrective :**

Elle intervient après le constat d'une panne et consiste à en diagnostiquer les causes et à réparer. Ce type de maintenance nécessite des équipes d'intervention surdimensionnées pour répondre dans les meilleurs délais, sans pour autant permettre de maîtriser la disponibilité des équipements. Les dégradations engendrent généralement des coûts de réparation et des pertes de production importantes. Ce type de maintenance nécessite un personnel spécialisé qui a suivi une formation particulière [Ivan 03].

- **La maintenance conditionnelle ou prédictive :**

Prévenir les pannes sans démontage ou arrêt de production, tel est l'objectif de la maintenance prédictive. Cette maintenance est basée sur l'analyse des conditions de fonctionnement des machines et elle est différente de la maintenance préventive traditionnelle qui se résume à des opérations de maintenance programmées à l'avance et à des intervalles réguliers. La maintenance prédictive comporte trois formes : traditionnelle (un expert ausculte de temps en temps la machine et analyse ses mesures périodiques pour essayer de prévoir un éventuel défaut) ; continue (l'utilisateur de la machine installe des capteurs sur une machine critique et un expert réalise l'analyse des informations sur un PC, la collecte est donc automatique, mais l'analyse ne l'est pas) ; continue intelligente (et la collecte et l'analyse sont automatiques).

Les avantages économiques de ce type de maintenance sont multiples :

- Diminution des arrêts de production intempestifs permettant d'augmenter la disponibilité des équipements,
- Suppression des arrêts systématiques pour entretien,
- Limitation de la gravité des réparations entraînant une réduction des coûts d'intervention et une amélioration de la sécurité des interventions,
- Réduction des coûts de stockage des pièces de rechange approvisionnées en fonction des besoins réels,
- Réduction des coûts de stockage des pièces de rechange approvisionnées en fonction des besoins réels,
- Planification des interventions de maintenance permettant une amélioration de l'organisation des intervenants et une réduction des coûts,
- Amélioration de la qualité des interventions grâce à des interventions ciblées,
- Motivation des personnels par la valorisation des tâches de maintenance.

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons, à la maintenance prédictive. La maintenance préventive malgré qu'elle soit la forme prédominante de la maintenance industrielle aujourd'hui mais elle engendre une perte de temps et donc d'argent considérable parce que elle met en œuvre des travaux non nécessaires ou met en arrêt des machines qui peuvent fonctionner encore parfaitement. Selon certaines études, 30% des montants investis dans la maintenance préventive sont dépensés inutilement. La maintenance prédictive n'intervient, elle, que si la situation l'impose.

2.4- la gestion des pannes

La détection de panne est indispensable pour que les mécanismes de réparation puissent se réaliser et laisser le système dans un état opérationnel. En outre, la détection d'une anomalie à temps et l'analyse rapide d'un phénomène anormal permettent de prévenir l'aggravation de la situation et d'arrêter la propagation de ses conséquences par une intervention judicieuse et rapide [Yan 02].

En générale la gestion des pannes suit les étapes suivantes :

- Détection : se rendre compte d'une anomalie ou d'un problème (apparition d'une panne).
- Diagnostic/ Pronostic : recherche de la nature de l'anomalie ou du problème. Cela consiste à essayer de localiser et identifier le problème. Pour un diagnostic cela revient à l'identification d'une panne par ses symptômes et pour un pronostic cela revient à faire des prévisions et des suppositions sur ce qui doit arriver sur l'équipement à maintenir. Ce qui nécessite une grande expérience pour les équipements complexes.
- Réparation : intervention si nécessaire en vu de rendre le système en son état de marche normale.

2.4.1- définition d'une panne :

Dans les normes et dans la littérature scientifique, on trouve une grande diversité pour signifier une panne. Dans le contexte de notre travail une panne est définie comme étant :

- une erreur : une dérivation du système par rapport à son état de marche normale

ou

- une faute : condition qui peut provoquer un dysfonctionnement du système.

On distingue deux sortes de pannes : les pannes dites primaires et les pannes dites secondaires. Les premières constituent un ensemble de pannes indépendantes qui peuvent être transmises et causées ainsi d'autres pannes appelées « pannes secondaires ». Ces pannes secondaires qui apparaissent donc comme des conséquences d'une ou de plusieurs autres pannes primaires peuvent à leurs tours causées d'autres pannes secondaires.

Les pannes primaires peuvent donc enchaîner une propagation de pannes causalement reliées. En raison de la complexité du système, ces relations de causes ne sont pas toujours déterminées [Yan 02]. Elles peuvent être acquises au fil des années. La détermination de ces relations requière donc une grande expérience.

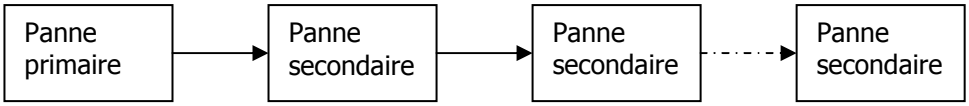


Figure 2.2: propagation de pannes causalement reliées

2.4.2- la détection d'une panne :

L'origine d'une panne est détectée par surveillance. Des instruments de mesure (thermocouples, thermostats…) sont attachés aux différents composants du système permettent de mesurer différents paramètres (température, pression…). A la détection d'une panne, une ou plusieurs alarmes sont signalées. Ces détections permettent d'informer et d'attirer l'attention des gestionnaires des systèmes industriels afin qu'ils puissent prévenir les dysfonctionnements. Ainsi, les pannes sont détectées avant que leurs effets se propagent dans le système et aggravent la situation.

2.4.2.1- notion d'alarme :

Une alarme est une information élémentaire pour la détection d'une panne. Elle est une modification d'une condition qui peut avoir un impact négatif immédiat ou potentiel sur l'état du système. Chaque alarme est caractérisée par : une (des) valeur (s), un paramètre

(température, pression, vibration…), un instrument de mesure, le composant surveillé et les causes probables.

2.4.2.2- détection d'une panne

Une des étapes de la supervision est la detection d'une panne c'est-à-dire la detection du passage du système d'un état de fonctionnement normal, à un état de fonctionnement anormal.

En effet, la moindre défaillance sur le procède peut limiter les performances des installations et avoir de graves conséquences si elle n'est pas détectée rapidement.

La détection d'une panne se fait grâce à la signalisation d'une alarme. L'alarme est signalée lorsqu'un paramètre donné atteint une valeur anormale.

2.4.3- le diagnostic de pannes :

En général, le contenu d'une alarme ne suffit pas à identifier une panne ou à prendre une décision concernant les taches de réparation cela s'explique du fait que la panne n'est pas forcement dans le composant dans lequel l'alarme à été détecté. Le processus de la surveillance dispose d'informations concernant un ou plusieurs composants sans pouvoir exactement localiser le problème. D'autre part même si la panne se trouve dans le composant où la l'alarme a été signalée, son identification peut être impossible sans l'observation des symptômes sur les composants voisins. Le diagnostique de pannes deviens alors une tache difficile et devient un défi très important. Pour l'aide à la localisation du problème, le processus du diagnostic doit pouvoir consulter l'expérience acquise pour faciliter la localisation du problème d'une part et d'autre part pour en déduire des propagations de pannes sous-jacentes.

2.4.4- la supervision du système

La maintenance ayant pour but de garantir dans le temps, l'état et les performances initiales des équipements, il importe d'intervenir rapidement chaque fois que des anomalies se manifestent, ou mieux chaque fois que des indices permettent de prévoir leur manifestation prochaine.

La surveillance des équipements qui permet de détecter ces anomalies et ces indices est donc à la base de la maintenance [ATG 79]. Elle permet la prédiction des pannes avant leur occurrence ce qui aide à l'explication des causes.

Des outils de détection et diagnostic de petits changements de caractéristiques (vibrations, températures, pressions…) sont particulièrement utiles pour la mise en place de politiques de maintenance préventive basées sur l'évolution effective de l'état de la machine ou de la structure surveillée, par opposition à une programmation a priori systématique.

Les méthodes classiques d'analyse et de surveillance des structures mécaniques et machines tournantes sont essentiellement dédiées au traitement de mesures prises soit sur banc d'essai soit dans des conditions d'excitation ou de vitesse de rotation spécifiques.

Les méthode actuelles consiste à l'intégration de logiciels d'analyse et de surveillance dédiés au traitement de mesures prises pendant le fonctionnement usuel de la structure ou machine considérée, sans excitation artificielle, ni ralentissement, ni arrêt de machine.

3- les turbines à gaz

3.1- présentation d'une turbine à gaz

La turbine à gaz [GENP] [ABB 95] [ALS 02] [SULZER] est une machine motrice à mouvement rotatif et à combustion interne, munie d'un compresseur d'air et d'une chambre de combustion en mesure de produire un fluide sous pression et à température très élevée.
Ce fluide, en se détendant dans les étages de la turbine, libère de l'énergie mécanique à l'extérieure.

La turbine à gaz a connu un développement considérable dans de nombreuses applications industrielles. Conçue avec 2 lignes d'arbres et accouplée à un compresseur, elle offre une plus grande souplesse d'exploitation, que la turbine à une seule ligne d'arbre.

Alliant la simplicité de son cycle thermodynamique à l'énorme avantage du mouvement de rotation continu, elle est actuellement réalisée pour une large gamme de puissance, mais son évolution et son succès ont été conditionnés par l'amélioration des performances techniques des turbines et des compresseurs d'air et par l'élaboration de métaux alliés ayant une bonne résistance mécanique et chimique aux températures élevées.

La puissance d'une turbine à gaz et son rendement thermique dépendent :

- du rapport de compression du compresseur d'air,
- de la température de fonctionnement (température à la sortie des chambres de combustion)
- du rendement du compresseur d'air et de la turbine de détente. *[ATG 79]*

La turbine est composée de trois principales parties :

- **Un compresseur axial** : la fonction principale du compresseur est de comprimer l'air atmosphérique à une pression plus élevée.
- **Chambres de combustion** : l'air comprimé en provenance du compresseur est mélangé avec le combustible, et le mélange est allumé. Le produit de cette combustion est une veine de gaz chauds à haute pression.

- **La roue turbine** : les gaz chauds à haute pression se détendent en produisant du travail pour entraîner d'une part le compresseur de la turbine et d'autre part la charge.

3.2- Fonctionnement d'une turbine

L'air atmosphérique, aspiré par le compresseur axial, est comprimé puis refoulé dans la chambre de combustion où est introduit le combustible ; le mélange désiré (air comprimé et gaz sous pression) est obtenu.

Une étincelle fournie par une bougie provoque la combustion. La chaleur produite dans la chambre de combustion et l'énergie dégagée par le produit de la combustion sont dirigées vers la première roue de la turbine où cette énergie thermique se transforme en énergie mécanique.

Une partie de la puissance développée par la turbine sert à l'entraînement du compresseur axial (après son désaccouplement du moteur ou turbine de lancement).
L'autre partie de la puissance développée est convertie en énergie utilisable, c'est-à-dire servant à entraîner la machine réceptrice (compresseur à gaz, dans notre cas).

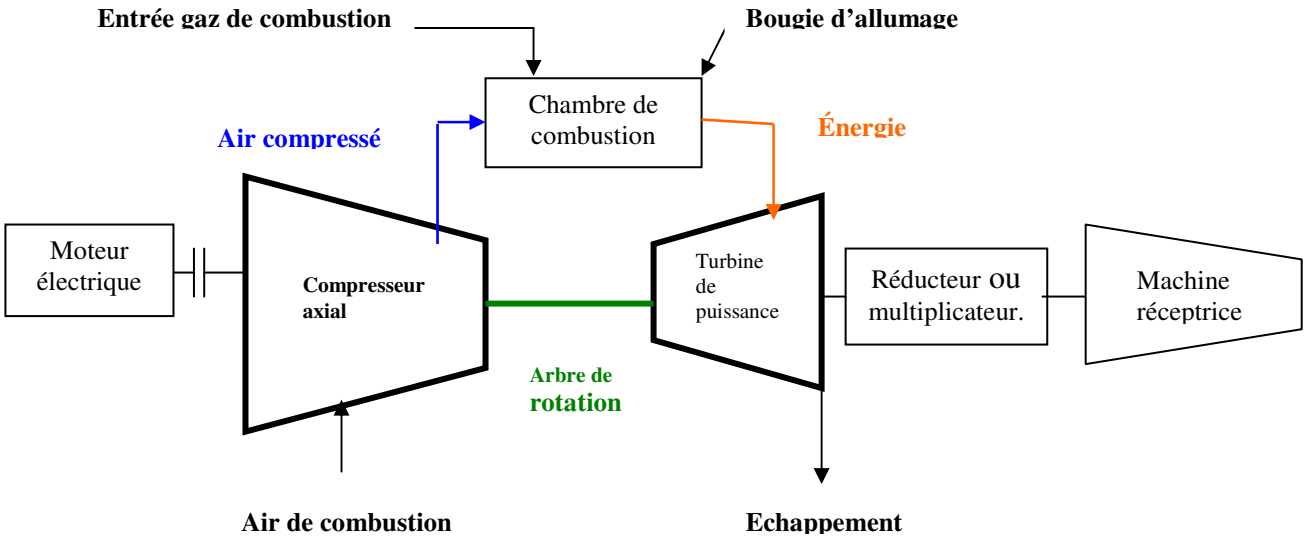


Figure 2.3: schéma d'un groupe turbine à gaz

3.3- Les composants de base :

Les composants de base d'une turbine sont :

1- **Carter d'entrée d'air** :
   a. **carter externe** de forme rectangulaire généralement.
   b. **Carter interne** circulaire intégrant le logement des paliers avant du rotor du générateur du gaz (ensemble compresseur et turbine à compresseur).

2- **Membre support de paliers :** le membre support de paliers se compose de deux parties, qui sont usinées, chevillées et fixées par boulons au niveau de leurs brides horizontales. Huit aubes supports disposées radialement joignent les faces avant et arrière. Les aubes supports sont positionnées de façon à opposer une résistance minimale à l'écoulement d'air.

3- **Logement de paliers d'entrée ou d'admission** (palier n°1) : usiné pour recevoir le **paliers à tourillon** ainsi que le **paliers de butée** avant et arrière. La lubrification est assurée par des tuyaux connectés aux paliers de tourillon et de butée à travers des passages d'huile perforés, et on injecte de l'air dans les passages interne pour empêcher l'huile provenant du palier de pénétrer dans le **générateur de gaz**.

4- **Carter du stator du compresseur** : comporte un **carter basse pression** (du corps arrière du compresseur) et **un carter haute pression** (du corps avant du compresseur) dans lesquels se trouvent les pales (aubes) du stator.

Des aubes directrices à géométrie variable (aubes VGS) forment les cinq premières rangées de l'aubage du stator pour faciliter le démarrage et pour prévenir le pompage du compresseur. Un mécanisme d'actionnement monté à l'extérieur commande le mouvement des aubes.

5- **Logement de paliers de la turbine à compresseur** (palier n° 2): support l'extrémité chaude de l'ensemble turbine. Le **rotor de turbine** est supporté dans des **paliers de tourillon** et de **paliers de butée inverse**.

6- Logement de paliers de la turbine de puissance (palier n° 3): Logement de paliers de la turbine est supporté par l'ensemble support et diffuseur d'échappement. l**'arbre de rotor de sortie de la turbine de puissance** est supporté dans deux **paliers de tourillon et de paliers de butée inverse.**

7- **Ensemble de rotors du groupe turbine** : le rotor se compose de deux ensembles séparés : l'ensemble de turbine à compresseur et l'ensemble de turbine de puissance.

Le rotor de compresseur est de conception axial à 15 étages. Il est composé d'une série de disques portant des aubes. La turbine à compresseur est de conception axiale à deux étages. Elle est composée de deux disques de rotor portant des aubes. La turbine de puissance est de conception axial à deux étages, composée de deux disques de rotor portant des aubes.

8- **système de combustion** : comprend huit tubes de flamme positionnés symétriquement et situés dans un carter de pression cylindrique. Le système est à écoulement inversé c'est-à-dire qu'à la sortie de la tuyauterie du compresseur, l'air est inversé et entré dans la tête des tubes de flamme par l'intermédiaire d'une tôle à turbulence qui brasse (mêler en remuant) rapidement le flux pour mélanger parfaitement le combustible et l'air.

9- **carter de pression de la turbine** (**support de diffuseur d'échappement**) : le carter de pression de la turbine est relié par des accouplements à brides au logement de paliers de la turbine ; il positionne l'ensemble stator de la turbine et sert de support au diffuseur d'échappement.

10- **diffuseur d'échappement :** diffuseur d'échappement monté à partir du carter de pression de la turbine, assure la diffusion des gaz pour le système de canalisation.

11- **boite de vitesse auxiliaire** : elle est entraînée par l'arbre de compresseur. Elle contient les entraînements nécessaires pour le moteur du démarreur de la turbine et son embrayage associés : la pompe à huile du mécanisme d'aubes variables de stator et la pompe à huile de lubrification principale.

12- **Système d'air de refroidissement et d'étanchéité** : l'air du compresseur assure l'étanchéité au niveau des joints à labyrinthe et le refroidissement des composants à haute température.

a. L'air à pression moyenne prélevé dans la bande de purge au huitième étage du compresseur sert a :

- pressuriser (maintenir une pression normale) le joint à labyrinthe d'admission du compresseur

- pressuriser les joints à labyrinthes situés de chaque côté du palier a tourillon de la turbine de compresseur pour empêcher l'air haute pression sortant du compresseur de pénétrer dans le logement de paliers.

b. L'air de purge du onzième étage sert à :

- refroidir les disques de rotor de la turbine de puissance et assurer l'étanchéité des paliers de la turbine de puissance

c. l'air de purge haute pression du quinzième étage prélevé en amont de l'aube directrice de sortie de compresseur sert à :

- refroidir les disques de rotor de la turbine de compresseur.

d. l'air de sortie de compresseur sert à :

- équilibrer l'air moyenne pression utilisée pour la pressurisation des joints labyrinthes au niveau du palier de tourillon du compresseur.
- Refroidir l'ensemble de tuyères haute pression par des trous pratiqués dans les bagues supports intérieurs et extérieurs des tuyères, pour pénétrer dans le tube de refroidissement de chaque tuyère, avant refoulement dans le courant de gaz à travers des trous de bord de fuite.
- Refroidir la face latérale d'entrée du stator et du rotor de la turbine de compresseur au premier étage.

L'air moyenne pression utilisé est évacué à l'atmosphère à travers le système reniflard (appareil qui sert à évacuer) secondaire. L'air haute pression de sortie de compresseur est évacué dans le système d'échappement par le système reniflard primaire [ALS 02].

3.4- applications industrielles des turbines à gaz

Les turbines sont utilisées pour :

- entraîner des compresseurs dans des stations de compression (groupe turbocompresseur),
- entraîner des pompes dans des stations de pompage (groupe turbopompe),
- entraîner des alternateurs (groupe turboalternateur).

– **Dans les s*tatio*ns de compression pour une activité de *production:***

Une station de compression est une unité où une série de compresseurs aspire le fluide à une pression assez basse et rejette ce fluide à une pression nettement plus élevée. Afin de pouvoir soutirer le maximum de gaz ou de pétrole d'un gisement (à pression faible au fond du

puit) par injection de gaz ou d'eau compressé ou d'un puit en irruption par injection de gaz lift, pour faire sortir le maximum de gaz ou de pétrole. Pour ce faire, on fait passer le gaz ou le liquide à injecter à travers plusieurs étages de compression qui le comprime petit à petit jusqu'à la pression désirée. C'est ainsi qu'en bout de chaîne de compression, on peut avoir jusqu'à 500 bars et le fluide est ensuite injecté dans le gisement.

- **Dans les stations de compression relais Pour une Activité transport gaz par canalisation :**

Pour une activité transport gaz par canalisation, des compresseurs des station de compression relais [wik 07] son entraînées par des turbines à gaz pour progresser des gaz dans des gazoduc.

- **Dans les stations de pompage relais**

Une station de pompage relais a pour rôle de recomprimer le pétrole pendant son écoulement dans l'oléoduc pour compenser la perte de charge le long des milliers de kilomètres qu'ils parcourent.

La puissance des compresseurs mis en place dépend de la configuration du terrain, accidenté ou non, de la distance entre les deux stations relais et aussi selon la densité et la viscosité du brut. D'une manière générale, la pression résiduelle à l'entrée du compresseur ne doit pas être inférieure à la capacité d'aspiration de celui-ci. Comme très souvent un oléoduc traverse des régions désertiques, caniculaires ou froides, tout cet ensemble est régulé à distance par ordinateur et de manière automatique. [wik 07]

- **Dans une centrale électrique pour la production de l'énergie électrique**

Les turbines à gaz sont utilisées dans les centrales électriques couplées à des alternateurs pour produire de l'énergie électrique.

3.5- problèmes majeurs rencontrés dans les turbines à gaz

Les ailettes (aubes) sont les éléments les plus chers dans la turbine. Les problèmes majeurs rencontrés dans les turbines à gaz est l'usure de ces ailettes (surtout les ailettes fixe et les ailettes mobiles du 1^{er} et $2^{ème}$ rangs).

Cette usure est causée par :

- Le phénomène d'érosion provoquée par une mauvaise filtration d l'air.
- L'élévation de la température à des grands seuils (1200°C)
- Le phénomène de vibration provoqué par :

- un mauvais alignement d'un arbre par rapport à l'autre (arbre turbine et arbre réducteur),
- un mauvais équilibrage des ailettes (mauvais montage des ailettes) ou du rotor,
- démarrage de la machine à froid (température de l'huile de graissage basse),
- démarrage sans virage.
- fermeture de la soupape anti-pompage au démarrage de la machine.



Figure 2.4 : Usure des ailettes d'une TG (Bechar SONELGAZ)

3.6- le parc turbines à gaz industrielles en Algérie :

L'Algérie possède un des parc turbines les plus important dans le monde. Ce parc est réparti entre la SONATRACH [SON 07] qui utilise les turbines spécialement pour l'extraction et le transport du pétrole et le gaz et la SONELGAZ [SGAZ 07] qui utilise les turbines pour la production de l'énergie électrique. La 1er révision d'une turbine (type fiat) faite en Algérie est au 1978. [Hac 06]

Ce parc est illustré dans les tableaux suivants :

Société	Nbre de turbines	Lieu	types
SONELGAZ	7	Tiaret	MS 9000 (3 TG) Fiat (4 TG)
	4	Bab-Ezouar	ABB (4 TG)
	4	Elhamma	MS 5000 (2 TG), Siemens (1 TG), N.P. (1 TG)
	4	Boufarik	MS 5000 (2 TG), Almande (2TG)
	25	Mssila	MS 5000 (22 TG), MS 9000 (3 TG)
	7	HMD-HMN	ABB (5 TG) , MS 9000 (2 TG)
	4	HMD-HMO	MS 9000 (4 TG)
	4	HMD-HMS	ABB (2TG), MS 5000 (2 TG)
	4	Haoud-Elhamra	ABB (2TG), Fiat (2 TG)
	2	Fekirina	/

Tableau 2.1 : parc turbine à gaz SONELGAZ [HAC 06]

Stations de pompage			*Stations de compression*	Total	Turbine à gaz
Brut	*Condensât*	*GPL*	*Gaz Naturel*	79	300
35 avec station satellite	3	10	31		

Tableau 2.2: activité transport pour une canalisation de 16 355 Km(en juin 2006) (SONATRACH) [Pip 06]

3.7- importance de la maintenance des turbines à gaz

Du fait de l'importance des turbines à gaz dans le processus du développement économique, l'opération de maintenance de ces équipements est d'une importance capitale. Elle permet de réduire le temps d'arrêt des équipements qui coûte très cher, ce qui permet de limiter les pertes de production et de réduire les coûts de maintenance.

Le coût d'intervention au niveau d'une turbine à gaz (au niveau de la SONELGAZ) pour une révision générale en 1995 était de 10.000 DA/h. cette opération de révision a nécessité une durée de trois mois et demi.

Conclusion

Le diagnostic de pannes est un sujet de recherche important surtout pour les installations industrielles. La détection rapide d'une anomalie grâces à des systèmes de surveillances contribue énormément dans le processus de diagnostic du fait d'anticiper le problème avant sa propagation dans le système, mais la tache de diagnostic proprement dite est très délicate et nécessite une grande expérience. Cette expérience permet de cerner le problème plus

rapidement, ce qui a pour conséquence de minimiser les coûts de maintenance et d'augmenter la fiabilité du système.

Pour pouvoir exploité cette expérience, il faut trouver les moyens et les techniques appropriées pour sa capitalisation et sa réutilisation.

CHAPITRE 3

La gestion des connaissances

1- Introduction

Pour ne pas perdre le savoir-faire les entreprises doivent synthétiser les informations qu'elles détiennent pour pouvoir les réutiliser comme des connaissances à part entière, il n'est pas rare que des entreprises aient été obligées de reconstituer entièrement certaines expériences par manque d'informations suffisantes. Pour les entreprises, cela signifie à la fois un gaspillage d'énergie, de temps et de ressources. Ainsi le départ de quelques ouvriers peut bloquer toute la chaîne de production. Par exemple en 1994, la NASA affirmait qu'elle était à cette époque incapable d'envoyer des hommes sur la lune.

De même lorsque l'Aérospatiale a voulu passer d'Ariane 4 à Ariane 5, elle s'est aperçue que personne ne disposait de l'ensemble des connaissances permettant de comprendre comment certains problèmes avaient été résolus. Il semblerait donc que la connaissance, non seulement des équipements et de leur histoire mais aussi du pourquoi et du comment des choix qui ont été faits, soit indispensable à la bonne marche de l'entreprise.

Les connaissances sont disséminées dans les bases de données, bases de connaissances, documents techniques, sur les étagères des bureaux et dans la tête des gens. Pour pouvoir réutiliser cette connaissance, il faut donc l'extraire pour espérer la conserver et pouvoir la transmettre ; une telle tâche n'est pas aisée. En effet, une simple accumulation de connaissances est loin d'être suffisante : il est nécessaire de les structurer et de mettre en place les moyens de les retrouver, en vue de prendre les meilleures décisions. Il s'agit donc des les gérer d'où il faut les modéliser.

En raison de la complexité des systèmes industriels, et des besoins de les modéliser; une diversité d'approches de modélisation ont été présenté dans plusieurs travaux de recherche. A travers ce chapitre, nous définissons ce que c'est la gestion de la connaissance, les problèmes liés à son acquisition et sa représentation. Nous parlerons, ensuite, de la modélisation de la connaissance, puis nous introduisons la notion de la mémoire d'entreprise, nous présentons ensuite les différentes approches de sa modélisation. Nous terminerons par une présentation de notre approche de modélisation.

2- De l'ingénierie à la gestion des connaissances

2.1- L'ingénierie des connaissances

2.1.1-Définition de l'ingénierie des connaissances

L'ingénierie des connaissances est une branche de l'IA issue de l'étude des Systèmes Experts (SE). Elle propose des concepts, méthodes et techniques permettant d'acquérir, de modéliser et de formaliser des connaissances pour les mobiliser dans l'activité d'une organisation. [IC 02]

Les Systèmes à Base de Connaissances (SBC) sont les descendants des systèmes experts des années 1980. Ces derniers avaient abouti à un constat d'échec. Cet échec était dû à la rigidité de leur système de règles et des règles d'inférence, mais aussi à l'erreur qui avait été commise de penser que toute la connaissance accumulée par un expert pouvait être transférable sous la forme de règles logiques. Le résultat obtenu était un ensemble de systèmes très rigides, difficiles à utiliser dans des cas réels et presque impossibles à mettre à jour sans détruire la cohérence de la base.

L'Ingénierie des Connaissances (IC), dont la spécialité est la construction de SBC, s'est développée à partir de cette situation. L'IC n'est donc plus vue comme une activité de transfert d'expertise, mais comme une activité de construction de modèles.

2.1.2- Objectifs de l'ingénierie des connaissances

Les objectifs de l'ingénierie des connaissances [Ph 06] sont :

- Construire des systèmes à base de connaissances
- Résoudre le problème du goulot d'étranglement de l'acquisition de la connaissance

- Passer du monde réel à la réalisation informatique par un modèle conceptuel des connaissances expertes par un processus constructif (de modélisation)

- Modéliser la connaissance à un niveau haut d'abstraction (Knowledge level)

2.1.3- Méthodes de l'ingénierie des connaissances :

Les approches de l'ingénierie des connaissances ont pour objectifs de retranscrire le raisonnement des experts et de développer des modèles génériques réutilisables pour d'autres domaines. Le point commun entre ces approches repose sur la description d'un modèle d'expertise informel ou semi formel aboutissant par la suite au développement du système final.

Pour créer un modèle conceptuel des connaissances, plusieurs méthodes ont été proposées. On distingue en général :

- les méthodes dites « descendantes » ou « dirigées par le modèle », comme KADS. La tâche de modélisation a pour but de construire le modèle conceptuel du système, c'est à dire une description abstraite du processus de résolution et des connaissances utilisées. Un cadre assez largement répandu maintenant pour décrire ce modèle conceptuel s'appuie sur les concepts de tâche, méthode et modèle du domaine. Les tâches décrivent ce qui doit être fait ; quels sont les buts et sous-buts du système ; les méthodes de résolution décrivent comment ces buts peuvent être atteints ; les modèles du domaine décrivent les connaissances qui sont nécessaires pour que ces méthodes puissent s'exécuter.

  Une fois le modèle conceptuel défini, celui-ci va servir de cadre pour l'élicitation des connaissances, c'est à dire la constitution effective de la base de connaissances. Il s'agit d'instancier le modèle conceptuel sur le domaine considéré.

  Le modelé conceptuel sert également de point de départ pour la conception détaillée et l'implémentation du système [MIND 03].

  Dans ces méthodes, la construction du modèle peut également être vue comme une activité de sélection. Le modèle est choisi parmi une liste de modèles existants - cas de l'approche "rôle limiting methods" - ou composé à partir de briques sélectionnées dans une bibliothèque - cas des Tâches Génériques.

- les méthodes « ascendantes » qui partent des données, particulièrement des textes pour construire un modèle du domaine. Elles reposent donc sur l'analyse manuelle ou semi automatique des sources de connaissances. Ces modèles considèrent la construction du modèle

comme une activité essentiellement constructive : le modèle est le résultat d'une démarche ascendante, d'abstraction, à partir d'observations sur le comportement des experts. La réalisation du SBC est ainsi le fruit d'une accumulation de connaissances, accumulation à partir de laquelle serait censé émerger, le comportement attendu du système. La méthode KOD est un des premiers représentants de cette famille de méthodes.

- Le cas général est une combinaison de ces deux approches. En effet, la modélisation d'une nouvelle application s'appuie bien souvent sur la connaissance de modèles préexistants. adapter et raffiner des modèles génériques –ou au moins des modèles déjà rencontrés- pour en concevoir un nouveau est ainsi la manière habituelle de procéder. On mêle alors étroitement construction et sélection. La plupart des méthodologies proposent ainsi des librairies de modèles dans le but de supporter ce processus, telle la méthodologie commonKADS.

2.2- La gestion des connaissances

2.2.1-Définition de la gestion des connaissances [wik 06]

La gestion des connaissances (en anglais Knowledge Management) est définie comme un ensemble de méthodes et de techniques permettant d'identifier, d'analyser, d'organiser, de stocker, de fournir et de partager des connaissances entre les membres des organisations, en particulier les savoirs créés par l'entreprise elle-même (ex: marketing, recherche et développement) ou acquis de l'extérieur (ex: intelligence économique).

Les acteurs de l'organisation ne doivent pas se limiter à la consommation d'informations, il faut qu'ils en soient également producteurs pour favoriser les échanges et pérenniser la capitalisation des connaissances.

On peut distinguer dans la gestion des connaissances :

- la capitalisation des connaissances (Connais-toi toi-même, savoir où l'on est pour mieux savoir où l'on va)
- la création des connaissances (Innover pour survivre)
- le partage des connaissances (Passer de l'intelligence individuelle à l'intelligence collective) [Die 04].

Concrètement, la gestion des connaissances consiste donc :

- à collecter le savoir des personnes de la structure/firme par des entretiens et à le rassembler dans des ouvrages de référence et/ou bases de connaissance,
- éventuellement à mettre en forme et échanger ce savoir par le biais du système de la Communauté de pratique
- à diffuser ce savoir au sein de la structure/firme [wik 06].

Cette gestion de connaissances s'appuie sur des outils variés :

- les bases de données ;
- la gestion électronique des documents (GED) ;
- le *groupware (logiciels permettant ou facilitant le travail d'un groupe de travail sur réseau).*
- les réseaux intranet et le réseau Internet ;
- les systèmes hypertextes ;
- le *workflow* ;
- les Systèmes d'indexation et de Recherche d'Informations (SRI) ;
- les systèmes experts ;
- les systèmes multi agents ;
- les Systèmes à Base de Connaissances (SBC), etc.

2.2.2- Objectifs de la gestion des connaissances

La gestion de la connaissance intéresse de plus en plus le monde industriel et commercial en offrant un moyen de résoudre des problèmes spécifiques relatifs à la gestion des savoir-faire d'une entreprise. Ces objectifs sont donc:

- formaliser et échanger des savoirs spécifiques à la firme/structure, des savoirs souvent non formalisés tels les savoir-faire et procédures complexes résultant de l'expérience
- fournir les informations utiles, et seulement elles, au moment opportun et, si possible, sans qu'on ait besoin de lancer des recherches longues et fastidieuses ;
- permettre de capitaliser les informations de manière organisée, afin de les pérenniser.

Donc le but de la gestion des connaissances est l'élaboration des systèmes à base de connaissances (SBC). Ces SBC doivent pouvoir manipuler les informations de manière formelle

et en accord avec la sémantique qui leur est attachée dans le domaine de connaissances considéré.

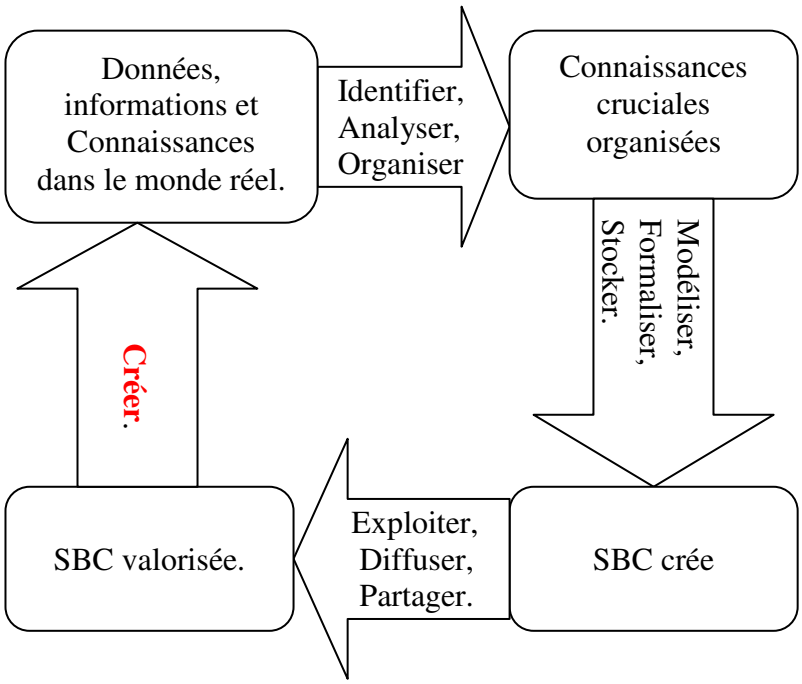


Figure 3.1 : gestion des connaissances

2.3- conception de la gestion des connaissances

Au travers des différents travaux qui ont été réalisés dans le domaine de la gestion des connaissances, on trouve qu'il existe deux grands types d'approches ou deux façons de concevoir la gestion des connaissances :

1. **l'approche orientée information** : cette approche est envisagée comme un simple processus de communication qui peut être amélioré grâce à un certain nombre d'outils (messagerie électronique, groupware, Intranet, workflow, systèmes hypertextes, etc.). Elle se fonde sur l'élaboration d'outils informatiques facilitant le travail coopératif et la communication entre les différents collaborateurs de l'entreprise. Dans cette approche, les connaissances gérées ne sont pas formalisées, voire même non clairement identifiées.

L'approche orientée connaissances : il s'agit, dans cette approche, de capitaliser les connaissances à l'aide d'une Mémoire d'Entreprise ME (sans l'exclusion des outils cités dans la première façon). Par analogie avec l'esprit humain, qui nous permet de construire sur des expériences passées et d'éviter la répétition d'erreurs, la ME doit donc capturer l'information dans diverses sources d'une organisation, et la rendre disponible pour effectuer différentes tâches. Ce qui nécessite un effort énorme en matière d'acquisition des connaissances. Des méthodes tels KADS, CommonKADS… sont disponible pour l'aide à une telle fastidieuse tache. L'exploitation des connaissances capitalisées est possible par l'intermédiaire d'outils de partage d'informations, se fondant généralement sur des technologies Intranet et permettant la consultation des connaissances.

Dans notre travail, nous envisagerons la gestion des connaissances du point de vue de la mise en place d'une Mémoire d'Entreprise (ME).

3- Gestion de la connaissance dans l'entreprise

3.1- de l'information à la connaissance

L'évolution des entreprises depuis une quarantaine d'années a été caractérisée par plusieurs étapes :

1. De 1960 à 1980 : acquisition et traitement des données dans une optique de production.
2. De 1980 à 1995 : acquisition et traitement des informations dans une optique de décision.
3. Depuis 1995 : acquisition et traitement des connaissances dans une optique de capitalisation [Dieng 02].

Quelques définitions de la connaissance :

- « La connaissance n'est ni une donnée, ni une information mais une capacité humaine acquise avec le temps, qui permet de relier des informations en leur donnant du sens »[Bar 01]

L'information est le support du transfert de connaissances entre deux individus. Ainsi, les connaissances sont propres à chaque individu et sont le résultat de l'interprétation d'informations dans son référentiel [Bru 01].

Si une information est une donnée plus une signification, alors une connaissance est une information plus du raisonnement.

Par exemple, une base de connaissances à propos d'une famille peut contenir le fait que Belkhir est le fils de Mohamed, le fait que Houssem est le fils de Belkhir, et la règle représentant que « le fils du fils d'une personne est son petit-fils ».

A partir de cette connaissance, le programme peut inférer le fait que Houssem est un petit-fils de Mohamed. »

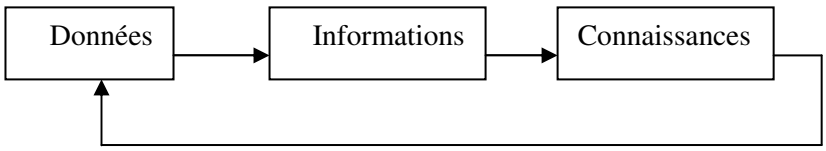


Figure 3.2 : Des données aux connaissances.

3.2- La connaissance dans l'entreprise

Les connaissances cruciales de l'entreprise sont les savoir et savoir-faire strictement nécessaires au déroulement des processus essentiels qui constituent le cœur des activités de l'entreprise. Ces connaissances permettent de produire de nouvelles données, informations, et connaissances (par inférence). Donc une entreprise doit déterminer ses connaissances et suivre une politique bien déterminée pour la gestion de ces connaissances, afin d'en tirer le meilleur profit pour l'entreprise ?

Malheureusement la connaissance dans l'entreprise demeure encore très mal gérée :

- des salariés (hautement qualifiés, et donc coûteux pour l'entreprise) passent beaucoup de temps à chercher des informations ;
- des savoir-faire essentiels demeurent dans la tête des employés, or ces employés bougent : départ à la retraite, mutation, changement de société, etc. ;
- des informations pertinentes sont enterrées dans des piles de documents ;
- des erreurs coûteuses sont répétées par méconnaissance d'expériences menées précédemment.

Cette mauvaise gestion est due à la dissémination de la connaissance dans différentes ressources (bases de données, documents technique, dans les têtes des gens…) et à la difficulté de les regrouper au sein d'une politique cohérente et unifiée en vu de leurs gestion.

3.3- typologies des connaissances

Il existe différentes typologies des connaissances dans l'entreprise, qui peuvent être utiles lorsqu'il s'agit de déterminer quel type de connaissances l'organisation doit capitaliser, et surtout, quelles sont les connaissances essentielles, indispensables à la capitalisation :

- Compétences = savoir agir responsable et validé.
- Savoirs théoriques : concepts, schémas, connaissances disciplinaires, connaissances sur les processus,/procédés, connaissances sur matériels/produits, connaissances organisationnelles, connaissances Sociales
- Savoirs procéduraux : « comment faire » pour une action
- Savoir-faire procéduraux : permettant, après entraînement, d'appliquer lors de l'action les méthodes /procédures connues grâce aux savoirs procéduraux.
- Savoir-faire empiriques : savoirs issus de l'action et comprenant les leçons tirées de l'expérience pratique. Elles décrivent donc des réflexes, issus de l'expérience. Il s'agit de connaissances procédurales, représentées sous la forme de règles de type « situation => action ».
- Savoir-faire sociaux .....

Ces connaissances sont donc soit des savoirs de l'entreprise (connaissance de domaine) soit des savoirs faire de l'entreprise (connaissance de contrôle) :

- ***Les connaissances du domaine :***

Ces connaissances constituent l'ensemble des connaissances clairement partagées par toutes les personnes de l'entreprise travaillant dans le domaine visé. En d'autres termes, ce sont les connaissances de base du domaine dénuées de toute interprétation particulière.

- ***Les Connaissances de contrôle :***

Ces connaissances recouvrent toutes les connaissances permettant d'effectuer des raisonnements dans le domaine. Elles décrivent les tâches et les inférences relatives au

processus étudié. L'analyse de ces connaissances permet de voir qu'il existe 03 types de connaissances combinées :

- **Les Connaissances Pragmatiques** : décrivent des réflexes, issus de l'expérience, il s'agit de connaissances procédurales, représentées sous forme de type « **si** situation **alors** action».
- **Les connaissances Causales** : Décrivent des relations de cause à effet plus au moins complexes entre phénomène du domaine. (si phénomène alors cause).

- **Les connaissances structurelles** : décrivent la structure fonctionnelle du matériel ainsi, à chaque entité fonctionnelle sont attachés les phénomènes la concernant.

A chacun de ces trois types de connaissances correspond une méthode de diagnostic propre ; le raisonnement réflexe, le raisonnement causal et le raisonnement structurel.

Pour résoudre un problème, chacune de ces trois approches pourrait être utilisée isolément comme on peut les faire coopérer.

La stratégie de coopération commence par utiliser les connaissances pragmatiques disponibles. Si cette approche pragmatique ne suffit pas à résoudre complètement le problème, le système met alors en oeuvre ses connaissances causales pour tenter de construire une explication des phénomènes. A tout moment, les informations acquises lors de ce raisonnement peuvent déclencher un nouveau comportement réflexe. Enfin, en dernier ressort, le système raisonnera sur la structure pour tenter d'identifier la cause du problème. A nouveau, les informations acquises lors de ce raisonnement peuvent permettre de réactiver des connaissances pragmatiques ou causales [MIND 03].

Selon leurs nature les connaissances peuvent être des :

- **connaissances explicites :**

  Correspondent à des connaissances formalisées, en particulier dans les ouvrages, documents. C'est une connaissance collective, propre à l'organisation, ayant un caractère un peu général.

- **connaissances tacites :**

  Acquises par imitation ou expérience, elles ne sont pas formalisées, elles sont le fruit de l'expérience. Elles sont d'ordre plus individuel et elles sont difficiles à exprimer.

4- acquisition des connaissances

Il n'est pas aussi simple de transférer des connaissances d'un expert vers des structures abstraites. Ce transfert est un véritable travail de résolution de problème dont l'objectif est d'élaborer des modèles reflétant les connaissances collectées. Cette tâche d'acquisition des connaissances reste encore, une tâche délicate car différents types de connaissances doivent être représentés, il est important donc de pouvoir les unifier autant que possible.

4.1- les systèmes experts

La conception d'un SBC exige un travail de transfert de connaissances entre des sources d'expertise (experts humains ou documents) et un outil informatique de façon à disposer ensuite d'un SBC pouvant être consulté comme un expert.

Cette phase de transfert d'expertise est souvent considérée comme le goulot d'étranglement du développement d'un système expert [Kar 93]. Rien ne permet d'aider l'expert et le cogniticien à identifier les connaissances qui devront être représentées dans le système. Aucun guide, aucune méthode ne permet de structurer cette tâche.

L'Acquisition des connaissances, dans la construction des systèmes experts de première génération, était essentiellement considérée comme une activité de transfert, consistant à traduire le discours de l'expert dans le formalisme de représentation choisi.

Ces connaissances acquises auprès des experts du domaine relient caractéristiques du problème et éléments de solution, elles sont représentées de manière uniforme, en général sous forme de règles de production.

Ces caractérisations ne permettent pas de comprendre ce que le système fait ou pourquoi il se comporte de telle ou telle manière. La nature des tâches qui sont exécutées est masquée.

Alors qu'initialement cette approche permettrait de développer des SBC plus rapidement et plus facilement, elle a en fait conduit à de nombreuses difficultés. Ces difficultés concernent principalement l'acquisition des connaissances, la production d'explications, le manque de robustesse et l'impossibilité de réutiliser tout ou partie de ces systèmes [Sel 06].

Les difficultés rencontrées en acquisition des connaissances lors de la construction de SBC de première génération ont joué un rôle majeur dans l'avènement des systèmes experts dits de seconde génération. Le domaine de l'Acquisition des connaissances est devenue une branche de l'IA à part entière. Il est maintenant principalement considéré comme une activité de modélisation, ce qui relève du domaine de représentation de connaissances.

Décrire le processus de résolution dans des termes plus abstraits – comme classification, abduction, abstraction de données, etc. – permet une meilleure caractérisation du comportement du système.

4.2- approches d'acquisition des connaissances :

Expliciter des processus mentaux est une tache très difficile pour les expert ce qui fait de la connaissance extraite une connaissance souvent inexacte, incomplète, voire inconsistante.

De nombreuses techniques ont été développées pour l'aide à l'extraction de ces connaissances implicites de l'expert.

Ces techniques appartiennent à deux approches co-existantes :

- Le *prototypage rapide : c'est une méthode dirigée par l'implémentation. En collaboration avec l'expert, le cogniticien* développe une maquette[1] reflétant le système réel à petite échelle. Cette maquette (après une étape de tests) devra ensuite soit raffinée grâce à des nouvelles interviews avec l'expert, soit rejeté à cause de la technique utilisée et une autre maquette est développée avec une autre technique (autres formalismes de représentation des connaissances et autres mécanismes d'inférences). Le système complet est développé par extension de la maquette par le cogniticien en collaboration des experts.
- L'*acquisition structurée des connaissances : dans cette approche dirigée par les modèles*, le problème est défini, puis l'expertise recueillie est **modélisée** avant de concevoir le SE puis de l'implanter.

L'existence d'un modèle intermédiaire indépendant des contraintes d'implémentation permet au cogniticien de mieux exprimer l'expertise. Il ne s'agit donc pas en réalité d'un

[1] Conceptualisation (avec l'optique des contraintes d'implémentation), formalisation, implantation et tests

problème d'extraction mais de **réorganisation** des connaissances. Dans cette approche, on distingue ainsi un niveau connaissances (ou « knowledge level »), distinct du niveau implémentation (ou symbolique), ce qui permet d'avoir des SBC décrit à un meilleur niveau d'abstraction. Le premier niveau celui des connaissances, nécessite une modélisation de celle-ci. Les modèles construits sont ainsi des spécifications.

Les différents aspects de l'acquisition des connaissances sont donc :

- La construction du modèle conceptuel,
- La construction de la BC (l'instanciation du modèle à partir des connaissances du domaine)

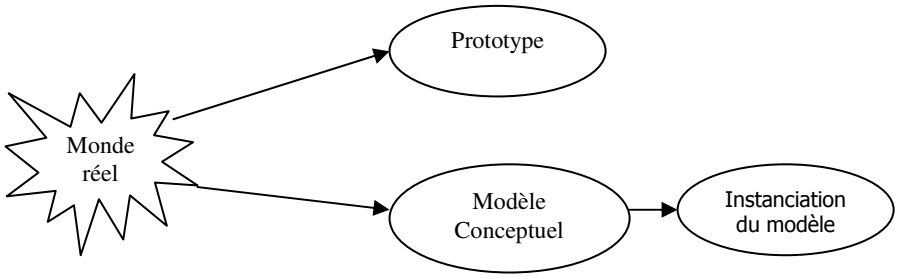


Figure 3.3 : les approches d'acquisition des connaissances

La premières approche est actuellement peut utilisée. Dans notre travail nous nous intéressons à l'acquisition structurelle des connaissances.

4.3- L'approche « knowledge level' :

Un des principaux apports des SE2G a été de distinguer un niveau connaissances (ou « knowledge level »), distinct du niveau implémentation, dans le but de décrire les SBC à un meilleur niveau d'abstraction.

Le terme « Knowledge level » a été introduit par A.Newell [Ang 03] comme un moyen de décrire un système comme si ce système possédait certaines connaissances, sans aucun a priori sur la représentation ou l'implémentation utilisée. Cette approche est intimement liée à une méthodologie de conception descendante (top-down).

Cependant, les motivations pour décrire un SBC au « knowledge level » ne sont pas simplement de permettre une description plus précise et plus abstraite de son raisonnement.

Une telle approche doit aussi :

- permettre une meilleure conception mettant l'accent sur comment le problème doit être résolu plutôt que sur comment le système doit être implémenté ;
- guider l'acquisition des connaissances en précisant quelles connaissances doivent être acquises et quel sera leur rôle dans la résolution ;
- permettre la réutilisation de briques génériques ;
- permettre également des explications plus abstraites.

Cette phase d'AC est primordiale car de la qualité des résultats qu'elle permet de produire dépend la qualité des performances du système final.

5- méthodes de gestion des connaissances

Les méthodes de gestion de connaissances sont très liées aux recherches effectuées en Ingénierie des Connaissances, elles se basent sur une étape de capitalisation consistant à recenser puis à modéliser des connaissances dans le but de former ce que l'on appelle une Base de Connaissances. Dans le cadre d'une organisation, on parle plus souvent d'une Mémoire d'Organisation (MO) ou Mémoire d'Entreprise (ME). L'élaboration d'une telle mémoire correspond à une phase de capitalisation de l'ensemble (ou d'un sous-ensemble) de connaissances de l'organisation.

Différentes méthodologies ont été mises en place dans le but de faciliter la capitalisation des connaissances. La plupart de ces méthodologies proviennent des recherches effectuées en Ingénierie des connaissances. À l'origine, elles étaient dédiées à la création de Systèmes à Base de Connaissances, et donc tournées vers des problématiques de résolution de problèmes ou d'aide à la décision [Bru 01].

Les méthodes de gestion de connaissances proposent (pour formaliser la connaissance) trois formes de transcription pour la connaissance : sous forme de textes (KOD...), sous forme de modèles (CommonKADS, GRAI…) ou sous la forme d'une combinaison de textes et de modèles (REX, CYGMA, et MKSM…).

5.1- Les approches KADS

KADS (Knowledge Acquisition and Design Structuring), est une méthode d'acquisition structurée des connaissances développée à l'Université d'Amsterdam, représente à l'heure actuelle la réponse la plus avancée en matière de méthodologie de développement de SBC. Synthèse et amélioration de nombreuses techniques, elle propose un cycle de vie basé sur les méthodes de développement de logiciels. Une analyse complète des données précède la conception et l'implantation du SE, ce qui diffère donc du prototypage rapide. Elle permet ainsi de traiter tout le processus d'acquisition des connaissances, du recueil au développement d'un système complet.

C'est une méthode dirigée par les modèles (par opposition aux méthodes dirigées par l'implémentation). Les modèles de KADS étant des représentations intermédiaires partielles et orientées de l'expertise avant leur implantation dans un système.

Le cycle de gestion de projets KADS :

Le processus d'élaboration d'un SBC avec KADS est un processus itératif, basée sur la séparation des phases d'analyse et de conception :

- Pour la phase d'analyse, KADS offre une approche structurée dirigée par les modèles, une structure à quatre niveaux pour formaliser les connaissances (niveau linguistique, conceptuel, logique et d'implantation), une bibliothèque de modèles d'interprétation, l'indépendance du modèle conceptuel par rapport au langage d'implantation du SBC.
- Pour la phase de conception, KADS adopte les méthodes classiques de génie logiciel tout en prenant en compte les spécificités des SBC [Bru 01]. La conception d'un SBC, selon la méthode KADS, se fait à travers la construction d'une succession de modèles, chacun de ces modèles s'intéressant à un aspect particulier du système à construire [Mart 97].

Le cycle de vie dans KADS comprend ainsi quatre phases :

1. l'examen des objectifs qui consiste à évaluer l'état courant du projet, puis à établir les objectifs du prochain cycle ;
2. l'analyse des risques qui permet d'identifier et d'évaluer les risques, puis de prévoir les actions nécessaires afin de les éviter ;

3. la planification qui sert à planifier le travail à partir des deux premières phases, en le découpant en tâches, en réalisant un planning, en allouant les ressources et en établissant les critères d'acceptation du cycle ;

4. le monitoring qui consiste à superviser le travail spécifié dans les phases précédentes et à préparer l'évaluation d'une nouvelle étape d'examen des objectifs.

Ces différentes phases se déclinent en étapes de modélisation. Les différents modèles proposés permettent non seulement la capture et la représentation en machine d'un savoir-faire, mais aussi la compréhension du problème réel, de l'organisation et de ses besoins. Ce sont donc aussi des documents de référence pouvant être directement intégrés à la Mémoire d'Entreprise. Ils font partie, avec la documentation et le code, des produits délivrés par l'approche KADS.

Les modèles KADS :

- le **modèle de l'organisation** décrit le contexte organisationnel dans lequel viendra s'insérer le système (l'environnement du SBC) ainsi que les interactions avec les utilisateurs. Le rôle des experts, les types d'utilisateurs, leurs besoins et utilisations du SBC… doivent donc être spécifiés, ce qui permet de bien cibler l'utilité et la fonction de l'outil, d'assurer son adéquation aux besoins des utilisateurs, de s'assurer de sa faisabilité ;
- **Le modèle d'application :** définit quel est le problème à résoudre, l'utilité d'un SBC, sa fonction et ses contraintes techniques (langage, système d'exploitation, performance, etc.).
- le **modèle de la tâche** décrit la tâche globale à réaliser, ainsi que la répartition des sous-tâches aux différents agents ; ce modèle consiste donc à analyser et représenter la tâche telle qu'elle est réalisée dans l'organisation actuelle. Il permet la structuration des tâches en termes :
  - des entrées et sorties telles que certaines sorties de tâches sont des entrées pour d'autres tâches. Cette relation entre entrées et sorties est exprimée à l'aide de diagrammes de flux de données,
  - un contrôle des sous-tâches réalisé à l'aide des événements déclenchés ou des dates d'échéance. Ce contrôle est spécifié à l'aide des diagrammes d'états ou des diagrammes d'activités, et
  - des contraintes environnementales dues aux agents responsables de l'exécution des tâches, et les compétences nécessaires.

- **Le modèle de coopération (englobe le modèle agent et le modèle communication) :** il recense les tâches de transferts (e.g. «obtenir-de», «fournir-à» (l'utilisateur)) entre le système et son environnement (ex : l'utilisateur) et précise ainsi les rôles respectifs (qui fait quoi).

    - Le modèle agent : représente les différents agents invoqués à l'exécution du projet et décrive les compétences de chacun de ces agents. Un agent présente certaines propriétés et compétences nécessaires au traitement d'une tâche. Il peut être une ressource humaine (directeur, technicien, etc.), un système à base de connaissances ou tout autre logiciel informatique. [Ham 05]

    - Le modèle de communication décrit un ensemble de transactions entre deux agents (les interactions entre le système et l'utilisateur). Une transaction représente une voie de communication (un dialogue) pour échanger une ou plusieurs informations. [Ham 05]

- **Le Modèle d'Expertise (modèle de connaissances [Ham 05])** : utilise le modèle de tâches et décrit le comportement et le type de connaissances nécessaires au système pour la résolution du problème, indépendamment de toutes contraintes d'implantation. Il s'agit donc d'un modèle de la connaissance de l'expert, subjectif car il s'agit d'une vision particulière du monde réel, mais ce n'est pas un modèle cognitif de l'expert car il est orienté par ce que peut et doit faire le futur SBC. Il vise à modéliser la tâche destinée à être implémentée dans un outil logiciel suite à l'analyse des besoins de l'organisation. Ce modèle joue donc un peu le rôle de spécifications fonctionnelles dans les développements classiques : c'est "le modèle qu'a en tête le concepteur quand il va implanter le SBC" [Brunet 91].

- **Le Modèle Conceptuel :** *est* la **réunion des deux derniers modèles** et décrit donc de façon abstraite les objets, comportements et opérations nécessaires au futur SBC. Par extension, il désigne toutes les activités menant à ce modèle (analyse linguistique puis conceptuelle). Il contient les spécifications détaillées du système.

Autrement dit le modèle conceptuel est la représentation informatique du modèle de connaissances et de communication tout en identifiant la plate-forme et l'architecture nécessaire à l'exécution de ce modèle. Ce modèle est composé de modules tels que chacun fait référence à un élément des modèles précédents (le modèle de connaissances et le modèle de communication) [Ham 05].

Les modèles de connaissances et de communication constituent une spécification détaillée du système à concevoir. Ces deux modèles contiennent les trois aspects complémentaires et indispensables à toute spécification :

1 l'aspect donné est représenté par les connaissances du domaine,

2- l'aspect fonctionnel est représenté à la fois par les connaissances inférence et tâche, cet aspect correspond à l'architecture fonctionnelle du futur SBC et s'obtient par une analyse épistémologique du Modèle Conceptuel ; là peuvent intervenir les termes du formalisme de représentation des connaissances du langage d'implantation ;

3- l'aspect comportemental est représenté par une partie des connaissances tâche et par le modèle de communication.

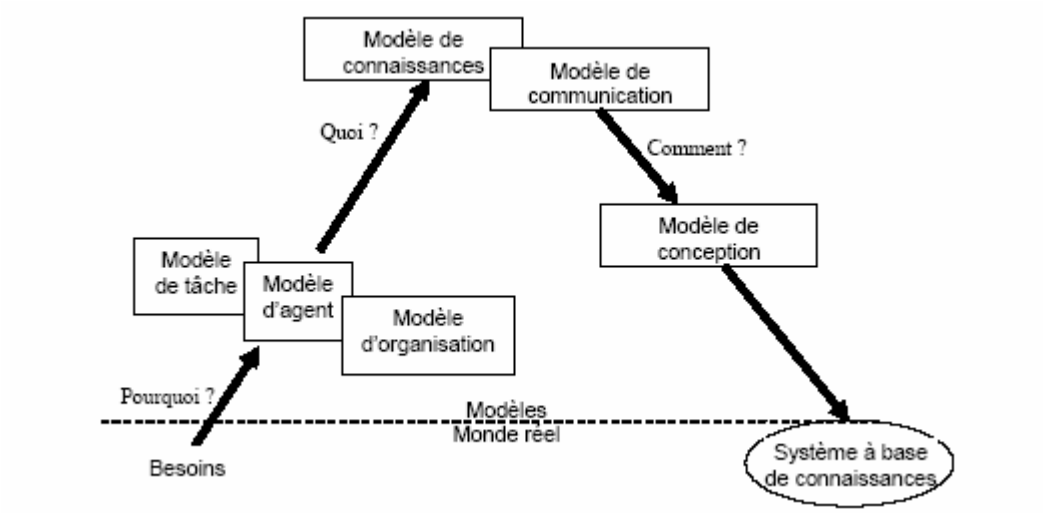


Figure 3.4 : Les phases de développement d'un système à base de connaissances dans KADS [Ham 05]

Les liens entre les différents modèles dans KADS sont établis de façon explicite, ce qui n'est pas le cas pour la méthodologie MKSM.

L'approche KADS est fortement axée sur l'opérationnalisation, les modèles utilisés sont solidement formalisés. Cette méthodologie a pour objectif d'être industrialisée. Ainsi, différents outils ont été élaborés pour simplifier l'instanciation des modèles (suivant notamment les conventions de représentation graphique UML) et leur

opérationnalisation. Des outils industriels supportant cette méthodologie sont maintenant disponibles.

5.2- La méthode KOD

KOD (Knowledge Oriented Design**) :** La méthode KOD est une méthode d'acquisition structurée des connaissances fondée sur une approche anthropologique, elle utilise des techniques issues de l'ethnologie et de la linguistique. Parmi les outils proposés pour le transfert des connaissances, KOD accorde une grande importance à la langue. En effet, la langue est le véhicule de l'information entre les différents intervenants d'un projet de recueil des connaissances entre l'expert et l'interviewer.

KOD propose trois modèles : pratique, cognitif et informatique, et trois paradigmes : représentation, action et interprétation

Paradigmes / Modèles	Représentation	Action	Interprétation
Pratique	Taxèmes	Actèmes	Inférences
Cognitif	Taxinomies	Actinomies	Schémas
Informatique	Objets	Méthodes	Règles

Recueil des données

Extraction des connaissances

Construction d'un modèle d'expertise

Figure 3.5 : Modèles et paradigme KOD

Un *Taxème* est un objet manipulé par l'expert pouvant entrer dans une classification.

Un *Actème* est un élément décrivant tout ce qui concourt à un changement d'état.

KOD est une méthode qui se déroule en trois grandes phases :

1. Recueil des connaissances (repose sur l'étude systématique du texte)

2. Exploitation des textes transcrits suite au transfert des connaissances
3. Construction d'un modèle d'expertise. Ce modèle est le résultat d'une démarche ascendante, d'abstraction à partir d'observations sur le comportement des experts.

La méthode KOD se concentre sur l'expert, en donnant un rôle prépondérant à l'étude des entretiens. A partir du discours de l'expert, de sources documentaires, d'observations de l'analyse, la méthode KOD produit une spécification de l'expertise.

Il s'agit donc de faire subir à un corpus de textes une série de filtrages [Cat 07] :

- Le premier filtrage porte sur la personne et élimine la multiplicité des formes de surfaces résultant de l'entretien (je peux, je veux, je sais, je dis, etc...)
- Le second filtrage porte sur la reconnaissance des entités manipulées par le discours, sur l'identification des comportements associés à ces entités : attribution d'une propriété ou description d'une action, et sur l'identification des inférences permettant d'interpréter ces comportements, de les prévoir ou de les expliquer.

5.3- La méthodologie REX

REX (acronyme de Retour d'Expérience) est une méthodologie dédiée à la capitalisation de l'expérience acquise durant la réalisation des activités d'une organisation. Le retour d'expérience se présente comme la description structurée, sous forme de fiches d'expérience.

L'application de REX se fonde sur trois étapes :

1. l'analyse des besoins et l'identification des sources de connaissance de l'organisation. Durant cette étape, il s'agit de spécifier et de dimensionner le système de gestion des connaissances qui sera mis en place. Elle doit permettre d'identifier les spécialistes du domaine et d'estimer les Eléments de Connaissance (EC) susceptibles d'être produits. Un EC est un texte qui se présente sous forme de fiche. Un EC a pour but de valoriser les connaissances de l'organisation et de faciliter leur consultation.

2. la construction d'Eléments des Connaissance et la modéliser du domaine par un travail d'analyse documentaire et de recueil d'expérience (via des entretiens). L'ensemble de ces éléments d'expérience sont stockés dans ce qui est appelé une mémoire d'expérience.

3. la mise en place puis l'exploitation du système de gestion des connaissances créé [Bru 01].

Concrètement un élément d'expérience est un texte reflétant un savoir ou un savoir-faire. Trois types d'éléments de connaissances on été définis [Ang 03] :

- L'ECD (Elément de Connaissance documentaire) qui est produit à partir du fond documentaire et correspond au résumé d'un document.

- L'EEX (Elément d'Expérience) qui renvoie à l'expérience acquise par une personne de l'entreprise et qui est formalisée au cours d'un entretien.

- l'ESF (élément de savoir-faire) qui renvoie au savoir-faire acquis par une personne en participant à une activité particulière

Les EC sont mises à disposition dans un outil informatique, l'outil REX, développé aujourd'hui par la société EURIWARE avec un système de recherche agrémenté d'un graphe de concepts construit auparavant, qui permet de naviguer dans les concepts du domaine pour mieux formuler sa requête. Ce système de recherche peut également être utilisé pour accéder à d'autres documents de toutes sortes [Cat 07].

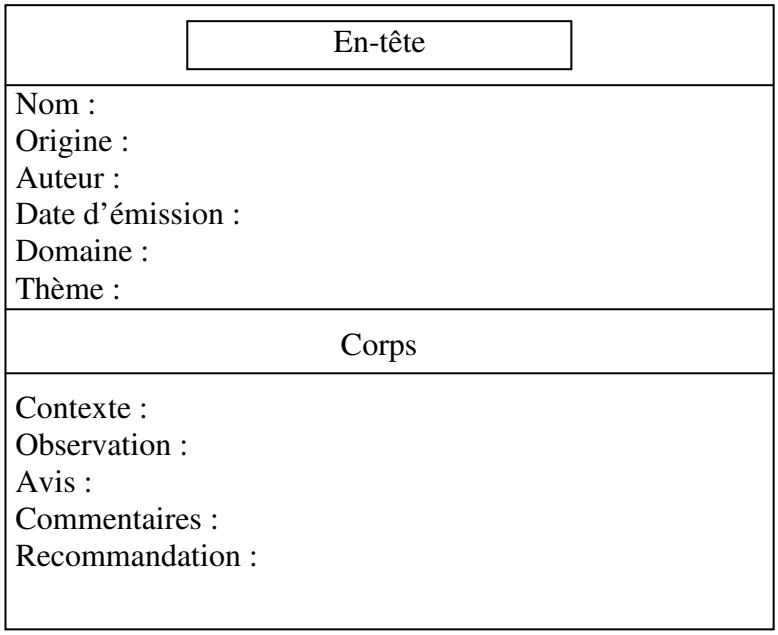


Figure 3.6: Structure d'une fiche REX [Cat 07]

5.4- La méthodologie MKSM

MKSM (Methodology for Knowledge System Management) est une méthode descendante, récente mise au point pour le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) en 1993 et continue d'être améliorée à l'Université de Technologie de Troyes et porte désormais le nom de MASK (Method for Analysing ans Structuring Knowledge).

MKSM propose à la fois des modèles permettant l'analyse et la modélisation des connaissances d'une organisation et un cycle de développement de projet.

Les modèles de connaissances proposés par la méthode MKSM se fondent sur deux hypothèses principales :

- L'hypothèse *systémique : le système de connaissance* forme un système complexe à part entière. Ce système peut donc être étudié selon trois points de vue indissociables : sa structure, sa fonction et son évolution ;

- L'hypothèse *sémiotique* : le système de connaissances est vu comme de l'information qui prend une certaine signification dans un contexte donné. Toute connaissance peut être alors observée

selon trois niveaux indissociables : le niveau syntaxique (données, représentation de l'information), le niveau sémantique (signification de l'information) et le niveau pragmatique (correspond au contexte, à l'environnement dans lequel cette information prend un sens).

Partant de ces deux hypothèses, il consiste à fournir un ensemble de vues permettant d'appréhender globalement un système de connaissances d'une organisation. Chaque vue apporte ainsi un point de vue complémentaire sur le même patrimoine de connaissances. Il y a neuf points de vue possibles : un point de vue syntaxique, sémantique et pragmatique, chacun étant décomposé en trois autres points de vue : structure, fonction, évolution. L'ensemble de ces vues forme ce qui est appelé le macroscope de la connaissance. À chaque point de vue correspond un modèle graphique de représentation.

Les modèles sont instanciés lors d'une phase de recueil de connaissances auprès d'experts, de spécialistes ou de documents de références.

L'ensemble des modèles instanciés et organisés de façon structurée forme ce que l'on appel un *livre de connaissances* qui est le produit final de tout projet MKSM et correspond au coeur de la mémoire d'entreprise.

Ce Livre de Connaissances MKSM est le point de départ pour une gestion diversifiée du patrimoine de connaissances. Tel quel, il peut être utilisé pour le partage ou la transmission des connaissances, pour la formation, pour la capitalisation. Mis sous forme électronique (hypermédia intranet), il peut se diffuser sélectivement à travers l'entreprise et surtout se lier aux autres sources d'information dont il fournit un cadre d'accueil structuré : références documentaires, bibliographiques, documents électroniques, bases de données, bibliothèques de logiciels etc. Ceci montre l'intérêt d'une activité d'analyse des connaissances en vue de structurer un système d'information, pour l'orienter vers la gestion des connaissances [Cat 07].

Les modèles MKSM :

Parmi les modèles proposés par MKSM, citons :

- **Le modèle du système de référence :** Le modèle du système de référence permet d'appréhender, d'un point de vue systémique, l'activité ciblée en identifiant les flux intrants et extrants (i.e. les flux entre le système et son environnement définissant la finalité du système), les agents cognitifs (il peut s'agir de personnes physiques, de matériels ou de sous-systèmes spécifiques), les flux d'information et les flux de connaissances (définis entre les agents et le patrimoine de connaissances) [Bar 01].

- **Le modèle de domaine :** Le modèle du domaine doit permettre la description de l'aspect structurel du domaine de la connaissance. Il s'agit de décrire, sous forme de processus, les phénomènes fondamentaux (généralement physiques ou biologiques) qui doivent être maîtrisés dans le cadre de l'activité des experts [Bar 01].

- **Le modèle d'activité :** Le modèle d'activité permet d'analyser et de représenter l'activité d'un point de vue fonctionnel et hiérarchique. Il décrit, à l'aide d'un formalisme de type SADT – Structured – Analysis – Design – Technique -, les différentes activités qui composent le processus métier [Bar 01].

- **Le modèle de concepts :** dédié à la représentation sémantique, le modèle des concepts repose sur le langage de représentation MOISE, plus précisément sur la partie dédiée aux connaissances statiques. Ce modèle permet de représenter et d'organiser les différents concepts (catégories d'objets) manipulés par les agents cognitifs du système de référence. Différents types de relations peuvent êtres définies entre les concepts : la spécialisation, l'agrégation et la valuation [Bar 01].

Le modèle de tâches : Le modèle des tâches permet de décrire les savoir-faire que l'expert exploite pour résoudre les problèmes relatifs à son travail. Ce modèle repose, comme le précédent, sur le langage de représentation MOISE et, plus précisément, sur la partie dédiée aux connaissances dynamiques. Il permet de décrire, sous une forme hiérarchique, la décomposition de tâches en sous-tâches plus spécifiques. Par ailleurs, des structures de contrôle permettent de définir l'ordonnancement des sous-tâches qui peut être de type séquentiel, parallèle, conditionnel ou itératif.

MKSM souffre d'un manque de formalisation des liens entre les différents modèles proposés. Par exemple, dans le modèle d'activité, les diagrammes SADT ne permettent pas de mettre en évidence les acteurs participants à chacune des fonctions identifiées. Il pourrait être utile de les préciser, en liaison notamment avec le modèle du système de référence. De façon similaire, le modèle des tâches ne permet pas de formaliser les liens avec les activités dans lesquelles elles interviennent [Bar 01].

Le cycle de vie d'un projet MKSM :

La méthodologie MKSM se concentre sur l'analyse et la modélisation des systèmes de connaissances et dont l'aboutissement est l'élaboration d'un Livre de Connaissances (elle laisse de côté les problèmes de réalisation et d'implantation). La conduite de projet MKSM comporte trois phases : le cadrage, le cycle de modélisation et le schéma d'orientation.

1. **La phase de cadrage** Cette première phase consiste à déterminer un sujet d'étude ou un domaine d'application. Elle permet de cibler le travail de modélisation à effectuer. Cette phase permet ensuite de définir les modèles qui seront utiles au projet, afin de réduire au mieux l'effort de modélisation. Cette phase permet également d'identifier et de mettre en place les acteurs du projet : le comité de pilotage qui suit et oriente, le comité de projet qui réalise, le comité technique qui conseille.

2. **Le cycle de modélisation** : consiste à modéliser la connaissance au travers des différents types de modèles qui ont été présentés. La modélisation s'effectue par l'interview d'experts ou l'analyse de documentation (avec la présence de personnes du domaine). Cette phase s'achève par la constitution d'un livre de connaissances regroupant l'ensemble des modèles produits. Ce livre fournit un point de départ indispensable à tout projet opérationnel de traitement de ces connaissances.

3. **Le schéma d'orientation** : doit permettre d'articuler la modélisation MKSM avec la partie opérationnelle du projet. Le schéma d'orientation possède trois niveaux distincts :

    i. *un niveau stratégique* permettant de définir des objectifs de la gestion du patrimoine de connaissances considéré pour chacun des quatre orientations possibles : les Ressources Humaines, le Management, la Production et la Recherche et Développement ;
    ii. *un niveau tactique* établissant les actions à mener (en spécifiant notamment leurs objectifs spécifiques, les sources de connaissances, les résultats attendus, leurs conséquences, leur environnement) afin d'atteindre les objectifs ;
    iii. *un niveau d'étude de risques* des différentes actions à mener classant les risques selon six axes : les enjeux externes, les enjeux internes, la facilité d'accès aux connaissances, la criticité des connaissances, l'intérêt des résultats possibles et l'intégration à l'environnement.

    Le schéma d'orientation ne se construit pas à un moment précis du cycle de vie d'un projet, mais au moment où l'on estime avoir une vision suffisamment précise du système de connaissances [Bar 01].

5.5- Notre méthode

Rappelons que l'objectif de notre travail consiste à l'élaboration d'une mémoire d'entreprise dont le but est la capitalisation de l'expérience du domaine. Cette expérience doit

aider l'agent de maintenance dans ces taches de diagnostic. Pour l'élaboration de notre mémoire d'entreprise nous avons choisis une approche ontologique (cf. partie 7.4.4) qui consiste à l'utilisation des ontologies dans les systèmes à base de connaissances. Pour aboutir à notre objectif, il nous faut donc utiliser une méthode d'acquisition structurée des connaissances permettant la modélisation de l'expertise sous forme de connaissances de domaine, de taches et de méthodes. Nous nous intéressons donc principalement aux approches KADS.

Le modèle qui nous intéresse dans ces approches est le modèle d'expertise (modèle de connaissances). Ce modèle décrit le processus de résolution de problème selon quatre niveaux :

1. le niveau domaine : décrit les concepts du domaine que manipule le système et leurs relations
2. le niveau inférence : décrit les inférences qui relient les méta-classes ou rôles. Ces rôles sont des pointeurs de concepts du domaine utilisés au cours du raisonnement et dont le nom souligne justement leur rôle au cours du raisonnement (par exemple, le concept du domaine « le patient a de la fièvre » pourra jouer le rôle de symptôme et être utilisé en entrée d'une inférence servant à suggérer des hypothèses) ;
3. le niveau tâche : explicite comment contrôler les inférences élémentaires pour atteindre un but. Il associe donc à un but un enchaînement d'inférences, en imposant l'ordre dans lequel elles doivent être appliquées.
4. Le niveau stratégie : détermine quels buts doivent être poursuivis pour résoudre un problème (le comment étant l'affaire du niveau tâche). La stratégie utilisée (dirigée par les données, par les buts, etc.)

Inspirons de cette méthode et de la méthode MERISE [Mer 89] utilisée dans l'analyse et le développement des systèmes d'information, nous proposons une méthode que nous appelons MACE (Méthode d'Analyse et de Conception de l'Expertise) permettant l'analyse et la conception de l'expertise. MACE consiste à élaborer chaque modèle (modèle du domaine, de taches et d'inférence séparément aux autres modèles. La méthode que nous proposons se base sur l'analyse des documents, des bases de données,… et surtout sur les interviews avec les experts du domaine. Une analyse complète des données précède donc la conception et l'implantation du système. Elle se déroule en trois phases :

1. La phase d'analyse qui consiste à :

a) ***détermination des besoins*** : cette phase consiste à déterminer l'objectif du système à développer puis de cerner le champ d'étude.
b) ***analyse de l'existant*** : cette phase consiste à identifier et analyser les documents liés à l'activité du domaine, les documents techniques et les manuels d'utilisation fournis par les constructeurs, l'analyse des bases de données…
c) ***construction d'un dictionnaire de connaissances*** : ce dictionnaire contient tous les concepts manipulés dans le domaine ciblé. Après avoir recenser tous les concepts, les synonymes et les homonymes sont éliminés pour donner en fin un dictionnaire de connaissances propre.
d) ***recensement des relations existantes entre les concepts :*** ces relations sont identifiées à partir des phrases du monde réel.
e) ***recensement des axiomes en langue naturelle :*** ces axiomes représentent des assertions, acceptées comme vraies. Ils expriment la sémantique de manipulation des concepts et des relations.

2. La phase de conception consiste à :
   a) Elaborer le modèle du domaine à partir du dictionnaire de connaissances et des relations entre concepts en utilisant un formalisme de représentation des connaissances.
   b) Elaborer le modèle de taches à partir de la spécification d'un scénario d'usage.
   c) Elaborer le modèle d'inférence à partir des axiomes. Chaque axiome donne naissance à un contexte d'usage.
3. la phase d'implémentation consiste à :
   a) traduire les modèles conçus en un langage compréhensible par la machine. La traduction est très aisée et directe si les formalismes utilisés dans la modélisation sont compatibles avec les langages d'implémentation.

6- modélisation de la connaissance

6.1- Notion de Modélisation

6.1.1- Modèles et systèmes

Un modèle est une structure familière, qui peut être employée pour analyser, comprendre et pour contrôler l'environnement. Le modèle est donc une simplification de l'environnement qui se focalise sur un aspect spécifique de celui-ci.

Un « modèle » est une abstraction de la réalité. Il s'agit d'un processus qui consiste à identifier les caractéristiques essentielles d'une entité, en vue d'une utilisation précise. C'est donc une vue subjective mais pertinente de la réalité qui définit une frontière entre la réalité et la perspective de l'observateur [fad 07].

Les caractéristiques fondamentales d'un modèle sont :

- Le caractère abstrait, qui doit notamment permettre de faciliter la compréhension du système étudié.
- Il réduit la complexité du système étudié.
- Il permet de simuler le système étudié et reproduit ses comportements.

Modéliser une entité revient donc à définir les concepts qui permettent de la décrire et les relations fonctionnelles qu'entretiennent ces concepts.

Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique entre eux pour aboutir à un but commun. La figure suivante illustre qu'un modèle est une représentation d'un certain système.

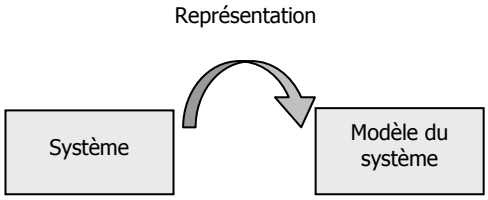


Figure 3.7. Système et modèle

6.1.2- Objectifs de la modélisation

Les modèles permettent de mieux comprendre le système que l'on développe, ils permettent ainsi d'atteindre quatre objectifs primordiaux :

- Les modèles nous aident à visualiser un système tel qu'il est ou tel que nous voudrions qu'il soit.
- Les modèles permettent de préciser la structure ou le comportement d'un système.
- Les modèles fournissent un canevas qui guide la construction d'un système.

- Les modèles permettent de documenter les décisions prises.

6.2- Représentation de la connaissance

La représentation des connaissances (RC) constitue un des thèmes centraux de la recherche en Intelligence Artificielle (IA). C'est un thème multidisciplinaire qui utilise les théories et techniques de trois domaines : la logique, l'ontologie, le calcul. La logique fournit la structure formelle et les règles d'inférence. L'ontologie, définit les différents types d'éléments qui existent dans le domaine d'application .La RC est l'application de la logique et de l'ontologie à la conception de modèles pour un domaine donné.

6.2.1- Problème de la représentation de la connaissance

Les objets de la vie courante n'obéissent pas à des lois aussi rigoureuses que les objets mathématiques, leurs représentations pose de nombreux problèmes :

- Les modalités : toutes les informations n'ont pas le même statut
- Les connaissances incomplètes : la connaissance disponible sur un objet est incomplète, la plupart du temps, parce qu'elle est implicite.
- L'évolutivité : les connaissances changent au fur et à mesure que l'univers change.

Le problème de la représentation des connaissances consiste donc à trouver une correspondance entre un monde extérieur et un système symbolique.

Il n'existe pas de formalisme « idéal » pour représenter les connaissances. Seulement un langage ou un formalisme de représentation des connaissances doit :

- Avoir une Bonne capacité de représentation du domaine ciblé ;
- Offrir des possibilités d'inférence ;
- Être efficace lors des inférences ;
- Syntaxe et sémantique claires ;
- Naturel.

6.2.2- modèles de la représentation de la connaissance

Les Systèmes Experts (SE) n'avaient pour objet que la résolution automatique de problèmes, les Systèmes à Base de Connaissances (SBC) qui leur ont succédé sont censés de ne plus permettre de faire manipuler en aveugle des connaissances à la machine, qui restitue à la

fin la solution du problème, mais de permettre un dialogue, une coopération entre le système et l'utilisateur humain (systèmes d'aide à la décision, systèmes d'enseignement assisté par ordinateur, recherche d'information sur le web). Le système doit donc avoir accès non seulement aux termes utilisés par l'être humain, mais également à la sémantique que ce dernier associe aux différents termes pour permettre une communication efficace. Plus précisément, les représentation symboliques utilisées dans les machines doivent avoir du sens aussi bien pour la machine que pour les utilisateurs, « avoir du sens » signifiant ici que l'on peut relier les informations représentées à d'autres informations [Furst 02].

Pour modéliser la richesse sémantique des connaissances, leur représentation sous forme de règles logiques utilisées dans les systèmes experts, ne suffit plus. De nouveaux formalismes sont introduits, qui représentent les connaissances au niveau conceptuel, en prenant en compte cette richesse sémantique. Cette représentation s'appuie sur l'utilisation des ontologies.

Les langages à base de **Frames**, les **logiques de descriptions** et les **graphes conceptuels** sont des exemples de tels formalismes. Ces langages permettent de représenter les concepts sous-jacents à un domaine de connaissance, les relations qui les lient, et la sémantique de ces relations, indépendamment de l'usage que l'on souhaite faire de ces connaissances. On découple alors la représentation des connaissances de celle des mécanismes inférentiels. Ainsi les connaissances représentées peuvent être utilisées pour différents objectifs.

Toutefois, il convient de souligner que la conceptualisation d'un domaine de connaissance ne peut se faire de manière non ambiguë que dans un contexte d'usage précis. Par exemple, un même terme peut désigner deux concepts différents dans deux contextes d'usage différents. On ne peut donc mener de façon totalement indépendante la représentation des connaissances d'un domaine et la modélisation des traitements que l'on souhaite leur appliquer. En d'autres termes, modéliser des connaissances ne peut se faire que dans un domaine de connaissance donné, et pour un but donné, condition nécessaire à l'unicité de la sémantique associée aux termes du domaine [Furst 02].

Certains auteurs estiment cependant que les ontologies sont, par nature, destinées à être réutilisées, et s'attachent à construire des ontologies dont la sémantique soit indépendante de tout objectif opérationnel.

7 – Mémoire d'entreprise

7.1- Définition

La mémoire d'entreprise est définit comme la matérialisation explicite et persistante des connaissances et informations cruciales d'une organisation pour faciliter leur accès, partage et réutilisation par les membres de l'organisation dans leurs tâches individuelles et collectives.

La mémoire de l'entreprise est donc un bien collectif que l'entreprise doit s'approprier comme partie intégrante de son capital. Ainsi il est indispensable d'intégrer la dimension « Mémoire d'Entreprise » dans le management pour tirer le meilleur parti des savoirs accumulés et s'assurer contre leur perte.
Souvent véritable clef du succès, cette démarche doit être systématisée dans la gestion quotidienne de l'entreprise. A travers ses différentes facettes, la mémoire de l'entreprise est utilisée par toutes les fonctions de l'organisation. Elle intéresse les ressources humaines, les services qualité, la recherche, le développement, la production, la vente, la documentation, le marketing, la maintenance...

7.2- Le cycle de vie de la mémoire d'entreprise (ME)

Le cycle de vie de la mémoire d'entreprise repose sur les étapes suivantes :

- Détection des besoins en ME,
- construction de la ME,
- distribution de la ME,
- utilisation de la ME,
- évaluation de la ME,
- évolution de la ME.

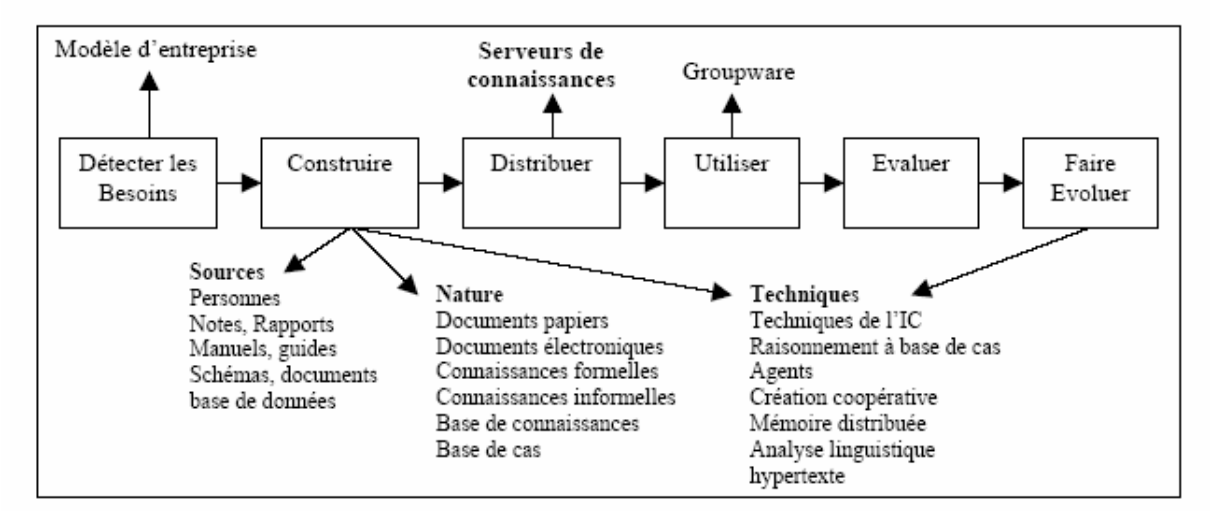


Figure 3.8 : Le cycle de vie de la mémoire d'entreprise [Dieng 98]

- **Détection des besoins :**

La détection des besoins constitue la première étape pour le développement d'une mémoire d'entreprise. Les éléments suivants doivent être identifiés :

- Sources de connaissances et d'informations disponibles dans l'entreprise.
- Qualité, volume et disponibilité de la connaissance.
- Les objectifs de la mémoire.
- Les connaissances à prendre en compte.
- Moyens humains, financiers et techniques disponibles pour la construction et la maintenance de la mémoire.
- Utilisateurs potentiels.
- Organisation pour diffusion et évolution de la mémoire
- Critères d'évaluation de la mémoire d'entreprise.

- **Construction** : la construction de la ME peut être faite selon plusieurs approches : mémoire à base de connaissances, mémoire à base des cas…

Les techniques choisies dépendent des sources de connaissances disponibles :

- Sources internes : experts, documents, BD

- Sources externes : revues spécialisées, sources d'information en provenance du Web, brevets, presse …

Différentes méthodes peuvent être utilisées :

- Méthodes d'ingénierie des connaissances : CommonKADS, KOD...
- Méthodes dédiées : CYGMA, MEREX, MKSM, REX...
- Méthodes issues du CSCW[2] : QOC, IBIS (utiles pour mémoire de projet)

- **Distribution et utilisation** : Diffusion de l'ontologie auprès des utilisateurs concernés. Cette distribution peut être active ou passive :

  - Active : un groupe chargé d'administrer la mémoire décide que certaines connaissances sont d'intérêt général et les diffuse au sein de l'entreprise.

  - Passive : chaque utilisateur potentiel de la mémoire la consulte lui-même lorsqu'il a besoin d'informations spécifiques.

- **Evaluation** : on distingue entre deux types d'évaluation : évaluation par les utilisateurs (avec des critères basé sur la satisfaction des utilisateurs) et une évaluation stratégique par le manager (avec des critères basés sur le revenu sur l'investissement)

- **Evolution** : une mémoire évolue en permanence. D'une part, au fil des années, l'entreprise s'enrichit de nouvelles expériences qui donnent naissance à des connaissances pertinentes pouvant être ajoutées dans la MC. D'autre part, certaines connaissances peuvent devenir obsolètes et doivent donc être soit supprimées soit mises à jour.

7.3- Typologies des mémoires d'entreprise :

La mémoire d'une entreprise inclut non seulement « une mémoire technique » obtenue par capitalisation du savoir-faire de ses employés mais également « une mémoire organisationnelle » (ou « mémoire managériale ») liée aux structures organisationnelles passées

[2] Computer-Supported Cooperative Work (CSCW) is a hot item today in both research and development. The idea behind it is that people should be able to work together in a group, but do not have to be at one place or time. "CSCW looks at how groups work and seeks to discover how technology (especially computers) can help them work"

et présentes de l'entreprise (ressources humaines, management, etc...) et des « mémoires de projet » pour capitaliser les leçons et l'expérience de certains projets [Af 99] :

- La « mémoire métier », composée des référentiels, documents, outils, et méthodes employés dans un métier donné,
- la « mémoire société » liée à l'organisation, à ses activités, à ses produits, aux participants (par exemple clients, fournisseurs, sous-traitants de l'entreprise),

- la « mémoire individuelle » caractérisée par le statut, les compétences, le savoir-faire, les activités d'un membre donné de l'entreprise,

- la « mémoire de projet » comportant la définition du projet, ses activités, son historique et ses résultats.

7.4- Approches pour l'élaboration d'une mémoire d'entreprise informatisée

Les techniques employées pour élaborer une ME dépendent des sources disponibles : experts, documents existants, bases de données, cas disponibles… Elles sont également fonction des utilisateurs visés. La mise en place d'une ME informatisée peut consister à élaborer cette mémoire à l'aide : d'un système documentaire intelligent, d'un système d'information, des bases de connaissances exploitées par un SBC, de l'utilisation combinée de documents, bases de connaissances et de cas …

7.4.1- Mémoire d'entreprise documentaire

Tous les documents de l'entreprise constituent la mémoire d'entreprise, mais ces documents sont mal indexés .Pour pouvoir les exploités d'une manière efficace, un système d'indexation et de recherche d'informations doit être mis en place. C'est dans cette optique que plusieurs travaux ont vu le jour : « système documentaire intelligent » [Com 98]. Il préfère mettre en place un système d'aide à l'édition de documents plutôt que de représenter les connaissances, puisqu'elles se trouvent déjà représentées dans ces documents. La mémoire apparaît ainsi sous forme d'un *système hypermédia* [Af 99].

7.4.2- Mémoire d'entreprise à base de connaissances

L'ingénierie des connaissances est naturellement intéressante pour élaborer une ME fondée sur l'explicitation et la modélisation des connaissances d'un expert. Toutefois, l'objectif d'une ME est moins ambitieux que celui d'un système expert. Au lieu de devoir offrir automatiquement des solutions à un problème, une ME est plutôt vue comme une aide pour l'utilisateur, lui fournissant les informations pertinentes mais lui laissant l'interprétation en fonction du contexte (ce qui n'exclut pas qu'une ME représentée à l'aide d'une base de connaissances puisse être implantée par l'intermédiaire de systèmes experts).

Les méthodes comme COMMET ou CommonKADS [Schr 98] [Ham 05] peuvent également avoir leur intérêt, d'autant qu'elles permettent d'analyser et de représenter une activité au « *knowledge level* » même si ils n'ont pas été conçu à l'origine pour élaborer des ME.

7.4.3- Mémoire d'entreprise à base de cas

Les entreprises possèdent des expériences passées (positives ou négatives) qui peuvent être représentées de manière explicite dans un formalisme permettant de les réutiliser. Ainsi, le raisonnement à partir de cas utilise les cas ou expériences passés pour résoudre un problème courant en partant de l'idée que « les mêmes problèmes ont les mêmes solutions » ou mieux encore « la solution d'un problème est un bon point de départ pour la résolution du problème courant ».

Le souci fondamental des systèmes CBR est d'éviter de reproduire les erreurs passées, et de faciliter l'acquisition des connaissances. Le CBR doit donc se rappeler des cas pertinents de la mémoire puis à partir de la liste des cas retrouvés à l'étape précédente, sélectionner les cas les plus promoteurs en utilisant les mesures de similarités et construire une solution ou une interprétation pour le nouveau cas. Une solution est élaborée en adaptant les anciennes solutions. Ensuite, le CBR doit tester et critiquer la sorti e de l'étape précédente et proposer des contre-exemples. Puis il évalue et analyse les résultats dans le monde réel pour enfin mettre à jour la mémoire en stockant et en indexant le nouveau c as.

Les principaux inconvénients de CBR résident dans sa mise en oeuvre. Il est en effet très difficile de définir et représenter un cas, d'organiser la base de cas, d'indexer les cas, de définir les « bonnes » mesures de similarités, de trouver une « bonne » stratégie d'adaptation. [Afou 04]

7.4.4- Notre approche

Dans notre travail, on propose une approche ontologique où la mémoire d'entreprise est matérialisée sous forme d'un système à base d'ontologies. Cette approche permet une meilleure formalisation de la connaissance. Elle permet de décrire le vocabulaire conceptuel à un niveau d'abstraction et permet des liens riches en sémantique entre concepts. Le mot sémantique doit être ici entendu dans une acception logique et non linguistique : il s'agit en fait de relations conceptuelles : ce sont en effet des prédicats appliqués à des entités.

Ce qui permet :

- Communication : échange de connaissance structurée entre personnes et organisations,
- Interopérabilité : compréhension d'un savoir entre machines et entre hommes et machines,
- Capitalisation : rendre ce savoir explicite.
- Réutilisation : réutilisation d'un savoir ce qui permet de profiter de l'expérience passée.

Conclusion

Vu l'importance de la gestion des connaissances, les entreprises industrielles prennent de plus en plus conscience de la nécessité de gérer leurs savoirs et savoirs faire individuels et collectifs. Plus elles sont grandes et situées dans des secteurs de haute technologie, plus elles mettent en place de telles politiques.

L'exploitation efficace des savoirs nécessite une gestion explicite : mémoriser les savoirs, communiquer, créer des liens les différents savoirs individuels et générer de nouveaux savoirs collectifs ce qui permet d'aider à l'innovation et par conséquent à l'augmentation de la productivité.

Pour mieux profiter des avantages apportés par la gestion des connaissances, il faut bien savoir représenter ces connaissances. Différentes approches de gestion de connaissances

existent. Parmi ces approches, on a opté pour une approche ontologique qui consiste à utiliser des ontologies dans les systèmes à base de connaissance.

CHAPITRE 4

Les ontologies

1- Introduction

Les ontologies sont à l'heure actuelle au coeur des travaux menés en Ingénierie des Connaissances (IC). Elles permettent de représenter les connaissances sous une forme qui permet aux machines de manipuler la sémantique des informations et de permettre une représentation des connaissances indépendante de diverses applications, de manière à assurer sa portabilité d'une application à l'autre.
En plus des représentations de connaissances au niveau conceptuel, les ontologies permettent aussi l'utilisation des connaissances pour le raisonnement. Elles intègrent à la fois les connaissances terminologiques d'un domaine et l'expression de la sémantique de celui-ci, tout en conservant leur indépendance vis-à-vis des usages opérationnels des SBC.
Pour construire une ontologie, une étude des connaissances humaines est indispensable au préalable. Ces connaissances doivent être défini dans un langage de représentation des connaissances. Pour pouvoir manipuler l'ontologie conçue, il faut la plongée dans un système à base de connaissances.

Les ontologies sont appliquées dans différents domaines : systèmes d'aide à la décision, systèmes d'enseignement assisté par ordinateur [Val 03], les systèmes de résolution de problèmes, le web sémantique , systèmes de gestion des connaissances [PME]…

2- Notion d'ontologie et d'ingénierie ontologique

2.1- Notion d'ontologie

Introduit en Intelligence Artificielle (IA) il y a 20 ans, le terme d'ontologie est cependant usité en philosophie depuis le XIXième siècle. Dans ce domaine, l'Ontologie désigne l'étude de ce qui existe, c'est à dire l'ensemble des connaissances que l'on a sur le monde. En IA, de façon moins ambitieuse, on ne considère que des ontologies, relatives aux différents domaines de connaissances [Furst 02].

D'après [Val 03], l'ontologie a été abordée pour la première fois par John McCarthy, dans les milieux de l'intelligence artificielle, qui reconnut le recoupement entre le travail fait en Ontologie philosophique et l'activité de construire des théories logiques de systèmes d'intelligence artificielle. McCarthy affirmait déjà en 1980 que les concepteurs de systèmes intelligents fondés sur la logique devaient d'abord énumérer tout ce qui existe, en construisant une ontologie de notre monde.

Les définitions du terme ontologie abondent dans la littérature scientifique. Les définitions, dans leur diversité, offrent des points de vue à la fois différents et complémentaires sur un même concept. [Asun 99]

Citons les définitions les plus célèbres :

- En 1993, Gruber [GRU 93] formule la définition suivante, à savoir « une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation».
  Par explicite, il faut entendre que le type de concepts utilisés, ainsi que leurs contraintes d'utilisation, sont définies de façon explicite ;
- En 1997, Borst [Asun 99] apporte une légère modification à la définition de Gruber en précisant que « les ontologies se définissent comme une spécification formelle d'une conceptualisation commune».
  L'adjectif formel exprime le fait que l'ontologie doit être lisible par ordinateur. Commun renvoie à l'idée qu'une ontologie rend compte d'un savoir consensuel, c'est à dire qu'elle n'est pas l'objet d'un individu, mais qu'elle est reconnue par un groupe».

- Studer et ses collègues [Asun 99] ont donné l'interprétation suivante de ces deux définitions : « la conceptualisation renvoie à un modèle abstrait d'un quelconque phénomène après en avoir relevé les concepts significatifs ».

- Selon Swartout et ses collègues [Asun 99], d'après l'approche qu'ils ont adoptée pour construire leurs ontologies, «une ontologie est un ensemble de termes structurés de façon hiérarchique, conçu afin de décrire un domaine et qui peut servir de charpente à une base de connaissances». Cette définition se base sur le fait qu'ils construisent des ontologies de connaissances spécifiques à des domaines d'expertise.

En conclusion nous pouvons définir une ontologie comme suit :

Une ontologie est une spécification formelle d'une conceptualisation commune d'un domaine indépendamment d'une application particulière. Elle est utilisée par des personnes, des bases de données et des applications ayant besoin de partager des informations portant sur un domaine *[Sol 04]*. L'ontologie est donc le support de l'acquisition des connaissances et elle est aussi un outil utile pour interfacer les agents logiciels et les agents humains.

Le système utilisant les ontologies doit donc avoir accès non seulement aux termes utilisés par l'être humain, comme dans le cas des systèmes experts, mais également à la sémantique que ce dernier associe aux différents termes.

Pour communiquer, les agents doivent donc partager une ontologie et pour qu'une ontologie soit une connaissance partagée, elle doit être explicite et être exprimée dans un langage ou un formalisme partagé.

2.2- Notion d'ingénierie ontologique

Historiquement, l'ingénierie ontologique a émergé de l'ingénierie des connaissances vu la détection d'un besoin de passer à une ingénierie s'appuyant plus solidement sur des fondements théoriques et méthodologiques, afin d'améliorer la conception des systèmes intelligents.

Elle permet de spécifier la conceptualisation d'un système, c'est-à-dire, de lui fournir une représentation formelle des connaissances qu'il doit acquérir, sous la forme de connaissances déclaratives exploitables par un agent.

Le terme « ingénierie ontologique » a été proposé par R. MIZOGUCHI en 1997 pour désigner un nouveau champ de recherche ayant pour but la construction de systèmes

informatiques tournés vers le contenu, et non plus vers les mécanismes de manipulation de l'information.

L'ingénierie ontologique peut être définie comme une thématique visant à proposer des concepts, des méthodes, des outils et des langages dédiés à la définition, au développement et au déploiement d'ontologies exploitables au sein d'un (ou de plusieurs) artefact(s)[3].

2.3- Les concepts manipulés dans une ontologie

Le rôle de l'ontologie est de consigner un ensemble de définitions de termes qui corresponde à une conceptualisation partagée par les acteurs d'un domaine. L'ontologie contient les primitives terminologiques du domaine (le vocabulaire conceptuel structuré en un ensemble de concepts et un ensemble de relations existantes entre ces concepts) ainsi que la sémantique de manipulation de ces primitives exprimée à l'aide d'axiomes.

Un concept est caractérisé par : un terme, une extension (objets ou instances du concept manipulés à travers ce concept), et une intension qui est l'ensemble des propriétés spécifiant la sémantique du concept. Ces concepts peuvent être classifiés selon plusieurs dimensions : 1) *niveau d'abstraction* (concret ou abstrait) ; 2) *atomicité* (élémentaire ou composée) ; 3) *niveau de* réalité (réel ou fictif). ;

Une relation traduise une association existant entre les concepts. Elle est caractérisée par : un terme, une extension (ensemble des tuples d'instances pouvant être liés par cette relation), et une intension qui spécifie les concepts pouvant être liés par cette relation et d'autre par la sémantique d'usage de la relation.

Ces relations incluent les associations suivantes : 1) Sous-classe-de (généralisation – spécialisation) ; 2) Partie-de (agrégation ou composition) ; 3) Associée-à ; 4) Instance-de, etc. Ces relations nous permettent d'apercevoir la structuration et l'interrelation des concepts, les uns par rapport aux autres**.** Les **fonctions** constituent des cas particuliers de relations, dans laquelle un élément de la relation, le nième (extrant) est défini en fonction des n-1 éléments précédents (intrants).

Les axiomes constituent des assertions, acceptées comme vraies, à propos des abstractions du domaine traduites par l'ontologie. Ils représentent les intensions des concepts et

[3] Structure ou phénomène d'origine artificielle ou accidentelle rencontré au cours d'une observation ou d'une expérience portant sur un phénomène naturel.

des relations du domaine (connaissances n'ayant pas un caractère strictement terminologique). Ils sont spécifiques en ontologies et les distinguent des thesaurus, qui ne présentent que des terminologies.

Les axiomes peuvent représenter des propriétés communes liées aux concepts et aux relations (propriétés vérifiées par de nombreuses primitives conceptuelles dans de nombreux domaines de connaissances). Ces propriétés sont appelées « schémas d'axiome ». Exemple : la propriété de subsomption (la relation « sorte de » entre concepts ou entre relations) ; la généricité d'un concept (concept générique ou abstrait qui n'admet pas d'instance).

Certains axiomes apparaissent dans tous les formalismes de représentation de connaissances utilisés pour décrire des ontologies. Des propriétés propres au domaine de connaissances considéré peuvent également apparaître et être incluses dans l'ontologie.

Les instance : Les **instances** constituent la définition extensionnelle de l'ontologie ; ces objets véhiculent les connaissances (statiques, factuelles) à propos du domaine du problème

2.4- Classification des ontologies

2.4.1- classification selon le vocabulaire de termes

Les concepts d'un domaine sont associés à un vocabulaire de termes pour chaque langue naturelle. De nombreuses ontologies définissent des mots bien plus que des concepts. Cette constatation permet de classer les ontologies en deux catégories *[Jean 04]*.

- **Les ontologies linguistiques**. Elles définissent le sens des mots utilisés sur un domaine d'étude. Ces mots sont essentiellement liés par des relations linguistiques telles que la synonymie ou l'antinomie. Ils peuvent être introduits comme concepts primitifs ou définis. Le nombre de termes définis est généralement très important.

- **Les ontologies conceptuelles**. Le domaine d'étude est appréhendé au travers de concepts représentés par des classes et des propriétés. Des mots d'un langage naturel peuvent être associés mais ce ne sont pas eux qui définissent le sens des concepts. C'est l'ensemble des caractéristiques associées à un concept ainsi que ses liens avec les autres concepts qui en définissent le sens. Les ontologies conceptuelles définissent uniquement des concepts primitifs et présentent ainsi une taille moins importante qu'une ontologie linguistique couvrant le même domaine.

Les ontologies linguistiques permettent essentiellement de reconnaître les similitudes conceptuelles entres des mots. Les ontologies conceptuelles visent à rendre accessible la structure et la sémantique de données à un programme informatique. Elles permettent ainsi de résoudre les problèmes d'hétérogénéité de différentes sources de données.

2.4.2- classification selon l'objet de conceptualisation

Selon [Val 03],[Miz 98] Les ontologies sont classifiées selon leur objet de conceptualisation de la façon suivante :

1) Représentation des connaissances ;
2) Supérieure/ Haut niveau ;
3) Générique ;
4) Domaine ;
5) Tâche ;
6) Application.

- **Ontologie de représentation des connaissances :** ce type d'ontologies regroupe les concepts (primitives de représentation) impliqués dans la formalisation des connaissances. Un exemple est l'*ontologie de Frame* qui intègre les primitives de représentation des langages à base de *frames* : classes, instances, facettes, propriétés/*slots*, relations, restrictions, valeurs permises, etc.

- **Ontologie supérieure ou de Haut niveau** : Cette ontologie est une ontologie générale. Son sujet est l'étude des catégories des choses qui existent dans le monde, soit les concepts de haute abstraction tels que : les entités, les événements, les états, les processus, les actions, le temps, l'espace, les relations, les propriétés. L'ontologie de haut de niveau est fondée sur : la théorie de l'identité, la méréologie *(theory of whole and parts role)* et la théorie de la dépendance.

- **Ontologie Générique/ méta-ontologies** : Cette ontologie véhicule des connaissances génériques moins abstraites que celles véhiculées par l'ontologie de haut niveau, mais assez générales néanmoins pour être réutilisées à travers différents domaines.

- **Ontologie du Domaine** : Cette ontologie régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrit un domaine d'application ou monde cible (médicale, industriel…). Elle permet de créer des modèles d'objets du monde cible. L'ontologie du domaine est une méta-description d'une représentation des connaissances, c'est-à-dire une sorte de méta-modèle de

connaissance dont les concepts et propriétés sont de type déclaratif. La plupart des ontologies existantes sont des ontologies du domaine. Selon Mizoguchi, l'ontologie du domaine caractérise la connaissance du domaine où la tâche est réalisée. Dans le contexte de la maintenance industriel, un domaine serait par exemple : le diagnostic de pannes.

- **Ontologie de Tâches :** Ce type d'ontologies est utilisé pour conceptualiser des tâches spécifiques dans les systèmes, telles que les tâches de diagnostic, de planification, de conception, de configuration, de tutorat, soit tout ce qui concerne la résolution de problèmes. Elle régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrit une structure de résolution des problèmes inhérente aux tâches et indépendante du domaine.

- **Ontologie d'Application (spécialisation d'une ontologie de domaine + ontologie de méthode) :** Cette ontologie est la plus spécifique. Les concepts dans l'ontologie d'application correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine tout en exécutant une certaine activité.

3- Modèles à base d'ontologie :

Les modèles de représentation de connaissance utilisés en ingénierie ontologique peuvent être regroupés en trois classes : les modèles à base de **Frames** ; les modèles basés sur les **Logiques de Description** et le modèle des **Graphes Conceptuels [Fur 04]**.

Chacun de ces modèles de représentation est implémenté dans un ou plusieurs langages implémentant une partie ou la totalité du modèle. Les langages implémentant ces modèles sont souvent opérationnels (ils offrent des mécanismes de raisonnement) et servent alors à représenter des ontologies déjà opérationnelles. D'autres ne font que permettre la spécification déclarative de connaissances.

3.1- Le modèle des Frames

Le modèle des Frames est un classique de l'Intelligence Artificielle et a été initialement proposé, comme langage de représentation d'ontologies, par T. GRUBER . Le principe de ce modèle est de décomposer les connaissances en classes (ou frames) qui représentent les concepts du domaine. À un frame est rattaché un certain nombre d'attributs (slots), chaque attribut pouvant prendre ses valeurs parmi un ensemble de facettes (facets). Une autre façon de

présenter ces attributs est de les considérer comme des relations binaires entre classes dont le premier argument est appelé domaine (domain) et le deuxième portée (range).

Des instances des classes, correspondant à l'extension de chaque concept, peuvent être ajoutées, ainsi que des fonctions qui sont des types particuliers de relations liant un ensemble de classes à une valeur calculée à partir des valeurs des attributs des classes. La spécification de propriétés conceptuelles des attributs (ou relations) recourt à des formules de la logique du premier ordre. La sémantique de la subsomption est purement extensionnelle : une frame F1 est plus spécifique qu'une frame F2 si toute instance de F1 est instance de F2. Plusieurs langages à base de frames existent. Citons à titre d'exemple :

F-Logic qui est l'exemple le plus connu de langage opérationnel à base de frames.

Le Knowledge Interchange Format (KIF) est un exemple de langage, non opérationnel, implémentant le modèle des frames en logique du premier ordre pour la représentation de connaissance.

Protégé2000 [Prot 06] est un autre exemple de langage, non opérationnel, implémentant le modèle des frames. Il utilise le modèle de connaissance OKBC comme base pour son propre modèle.

3.2- Les Logiques de Description

Les Logiques de Description (DL) combinent des représentations intentionnelles et extensionnelles des connaissances :

- une **Tbox** (T pour terminologique) contient les déclarations des primitives conceptuelles organisées en *concepts* et *rôles* (relations binaires entre concepts dotées d'un domaine et d'une portée similaires aux attributs des frames). Ces déclarations décrivent les propriétés des concepts et des rôles et constituent donc une définition intentionnelle des connaissances ;
- une **Abox** (A pour assertionnel) contient les déclarations d'*individus*, instances des concepts définis dans la Tbox.

La spécification de propriétés des concepts et rôles utilise des constructeurs ensemblistes et logiques.

Plusieurs modèles de DL peuvent être utilisés en fonction des constructeurs nécessaires à la modélisation. Le fait d'utiliser tous les constructeurs ou seulement une partie d'entre eux joue sur la décidabilité et la complexité des calculs de raisonnement. Loom et CLASSIC sont des exemples de modèles opérationnels implémentant ce modèle. Il est de plus utilisé dans les langages de représentation de connaissance OIL et OWL développés pour le Web.

3.3- Le modèle des Graphes Conceptuels

Introduit par J. SOWA au début des années 80, le modèle des **Graphes Conceptuels** (GC) appartient à la famille des **réseaux sémantiques**. Les réseaux sémantiques modélisent les connaissances sous forme de graphes ; les noeuds étant associés à des concepts et les arêtes à des relations. Ce modèle se prête bien à des présentations graphiques des connaissances mais présente certains problèmes particuliers de représentation.

Le modèle des GCs se décompose en deux parties :

- une partie **terminologique** dédiée au vocabulaire conceptuel des connaissances à représenter, c'est-à-dire les types de concepts, les types de relations et les instances des types de concepts ainsi que les liens de subsomption entre concepts et entre relations.

  Cette partie correspond ainsi à la représentation du modèle conceptuel mais intègre également des connaissances sur la hiérarchisation des types de concepts et de relations ;
- une partie **assertionnelle** dédiée à la représentation des assertions du domaine de connaissance étudié. Les faits, les règles et les contraintes sont représentés sous forme de graphes où les sommets sont des instances de concepts et les arcs des relations

4- Construction d'une ontologie

Le processus de construction d'une ontologie est une collaboration qui réunit les experts du domaine de connaissance, les ingénieurs de la connaissance, et les futurs utilisateurs de l'ontologie. Pour que cette collaboration ne soit fructueuse, les objectifs du processus doivent être clairement définis, ainsi que les besoins qui en découlent.

4.1- Cycle de vie d'une ontologie

Les ontologies étant destinées à être utilisées comme des composants logiciels dans des systèmes répondant à des objectifs opérationnels différents, leur développement doit s'appuyer sur les mêmes principes que ceux appliqués en génie logiciel.

Le Cycle de vie d'une ontologie comprend une étape initiale d'évaluation des besoins, une étape de construction, une étape de diffusion, et une étape d'utilisation. Après chaque

utilisation significative, l'ontologie et les besoins sont réévalués et l'ontologie peut être étendue et, si nécessaire, en partie reconstruite.

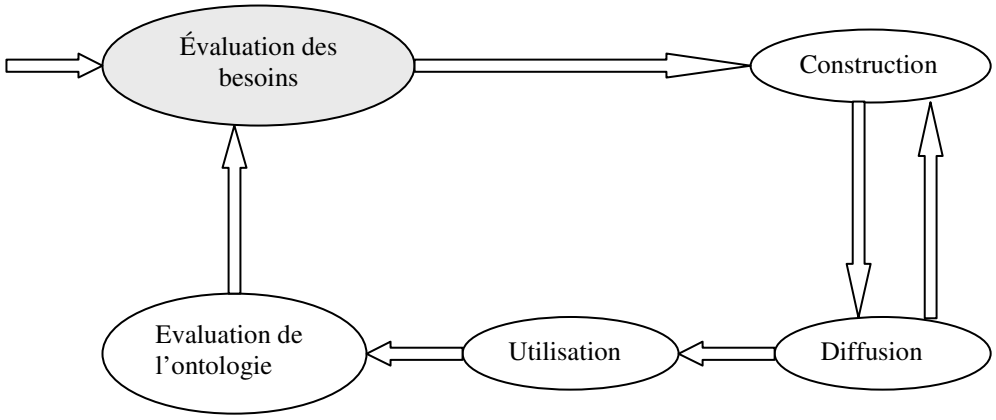


Figure 4.1 : *Cycle de vie d'une ontologie*

a) L'évaluation des besoins :

L'évaluation des besoins consiste à :

- déterminer avec précision **l'objectif opérationnel** de l'ontologie (en particulier à travers des scénarios d'usage)
- cerner **les connaissances de domaine** (connaissances spécifiques du domaine ciblé, connaissances communes à plusieurs domaines) ;
- identifier **les utilisateurs** (ce qui permet de choisir, en accord avec l'objectif opérationnel, le degré de formalisme de l'ontologie, et sa granularité).

Une fois les besoins évalués, le processus de construction de l'ontologie peut démarrer.

b) la construction :

Le processus de construction peut être découpé en 3 phases dans le cas d'une ontologie opérationnalisée .ce processus n'est pas séquentiel, des allers-retours entre les différentes phases du processus sont à prévoir :

1. **La conceptualisation :** identification des connaissances contenues dans un corpus (exprimé a priori en langage naturel et intégrant toutes les connaissances ou données brutes du domaine que l'on souhaite formaliser) représentatif du domaine. Ce travail doit être mené par un expert du domaine, assisté par un ingénieur de la connaissance ;

2. **L'ontologisation :** formalisation, autant que possible, du modèle conceptuel obtenu à l'étape précédente. Ce travail doit être mené par l'ingénieur de la connaissance, assisté de l'expert du domaine ;
3. **L'opérationnalisation :** transcription de l'ontologie dans un langage formel et opérationnel de représentation de connaissances. Ce travail doit être mené par l'ingénieur de la connaissance.

Une ontologie peut être conçue sans être opérationnalisée autrement dit le processus de construction n'est formé que des deux étapes : conceptualisation et ontologisation. Une telle ontologie peut être diffusée sans être utilisée (destinée à être utilisée dans différents domaines). Pour une utilisation spécifique, l'ingénieur de connaissance doit revenir à l'étape de construction pour opérationnalisée l'ontologie puis le faire diffusé en vue de son utilisation spécifique.

c) La diffusion :

Une fois opérationnalisée, l'ontologie va être diffusée pour être utilisée par les concernés (utilisateurs de domaine).

La figure suivante illustre l'enchaînement des trois étapes permettant de passer des données brutes à une ontologie opérationnelle.

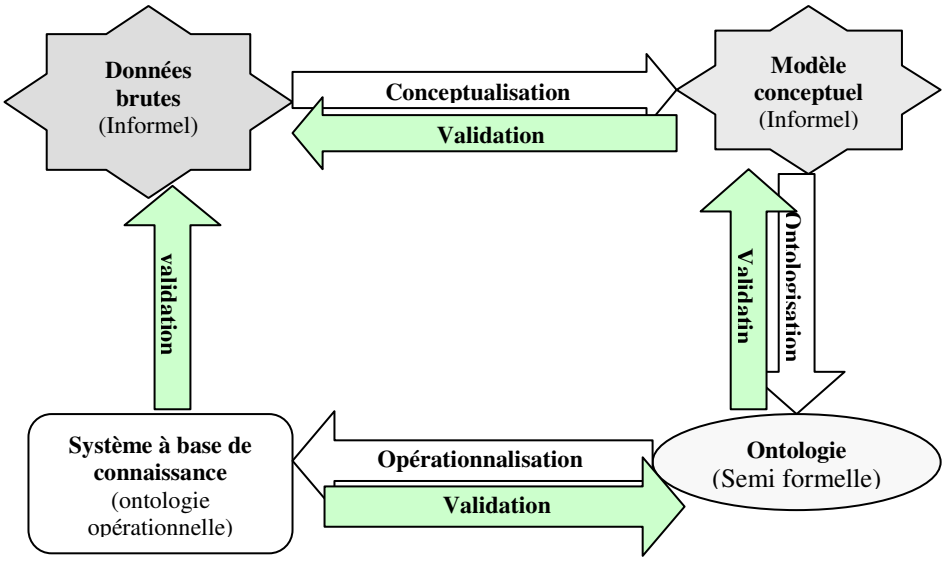


Figure 4.2 : processus de construction d'une ontologie exploitable au sein d'un Système à Base de Connaissances

4.2- Les méthodologies de construction d'ontologies :

4.2.1- méthodologies de construction d'ontologies

Le processus de construction d'une ontologie est un processus complexe. A l'heure actuelle, il n'existe pas encore de consensus à propos des meilleures pratiques à adopter lors du processus de construction ou même des normes techniques régissant le processus de développement des ontologies, bien que certaines contributions dans cette direction soient déjà disponibles dans plusieurs écrits.

De nombreuses méthodologies de construction d'ontologies ont été proposées. Une méthodologie étant considérée comme ensemble de principes de construction systématiquement reliés, appliqués avec succès par un auteur dans la construction d'ontologies [Val 03].

Ces méthodologies peuvent porter sur l'ensemble du processus et guider l'ontologiste à toutes les étapes de la construction. Par exemple la méthodologie METHONTOLOGY, élaborée en 1998 par A. GOMEZ-PEREZ, couvre tout le cycle de vie d'une ontologie [Fur 04].

D'autres méthodologies se focalisent sur une des étapes du processus. Par exemple celle présentée par N. AUSSENAC-GILLES (2000) insiste sur l'étape de conceptualisation par l'analyse d'un corpus textuel. Un autre exemple est la méthodologie ONTOSPEC de G. KASSEL (2002) constitue une aide à la structuration des hiérarchies de concepts et de relations durant la phase d'ontologisation.

D'une manière générale, les méthodologies recensées permettent la construction d'ontologies selon 4 types de processus :

- Construction de nouvelles ontologies à partir de zéro ;
- Ré-ingénierie d'ontologies ;
- Fusion ou intégration d'ontologies ;
- Construction collaborative d'ontologies.

La figure suivante montre comment ces différentes méthodologies s'intègrent et parfois se complètent à l'intérieur d'un cycle de vie de construction, d'évaluation et de maintenance des ontologies [Val 03].

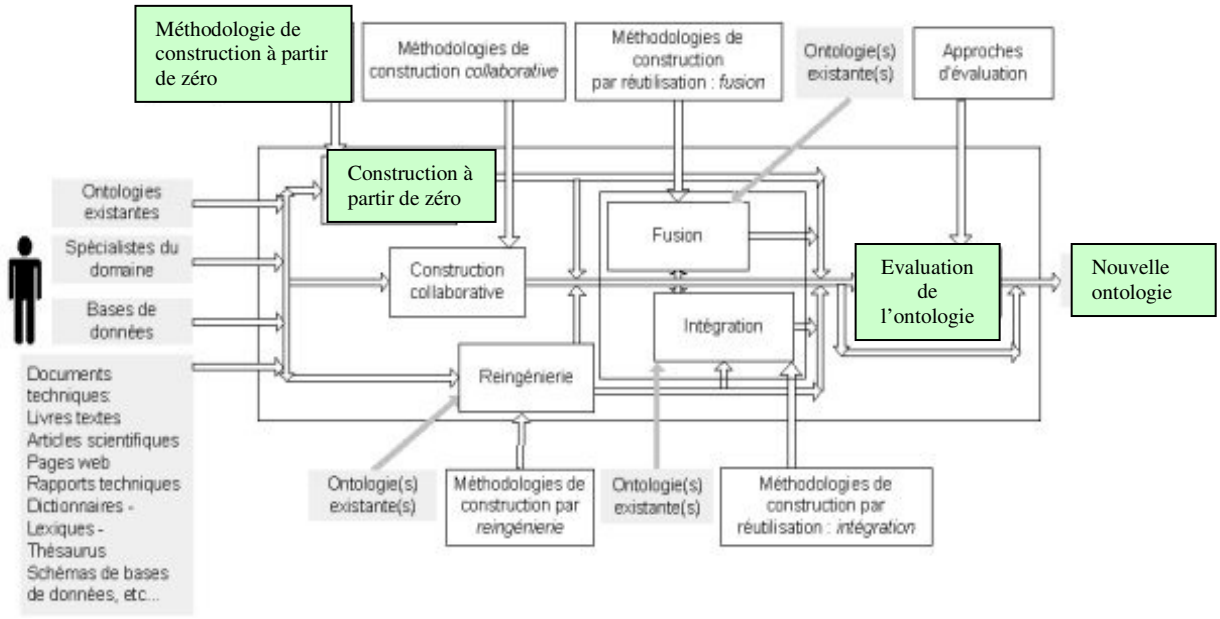


Figure 4.3 : Cadre d'analyse des méthodologies recensées [Val 03]

Les méthodes d'ingénierie ontologique identifiées dans les écrits sont nombreuses. Parmi elles citons : Méthodologie, Common KADS & KACTUS, Ontolingua, (KA)2, Approche unifiée, Cyc, Enterprise, FCA-merge , On-To-Knowledge … Une recension de ces methodologies est dans [Val 03]

4.2.2- les approches de construction d'ontologies

Dans le monde de la conception d'ontologies, on trouve trois grandes approches [Motta 00] :

- L'approche bottom-up de Van der Vet (1998). Les notions spécifiques sont déterminées en premier, et ensuite généralisées en suivant certains critères.
- L'approche top-down préconisée par Sowa (1995). Les notions génériques préalablement définies sont spécialisées jusqu'à obtenir le niveau de granularité voulu.
- L'approche middle out de Uschold (1996). Les notions les plus présentes dans le domaine sont déterminées en premier et ensuite généralisées et spécialisées. Cette dernière approche nous a semblé intuitivement la plus appropriée pour notre travail, car il nous semble plus facile de sélectionner les concepts par rapport à leur importance dans le domaine que par rapport à leur spécificité.

Cette démarche de conception d'ontologie peut se ramener de manière générale à 4 étapes :

1. Repérer les concepts centraux à partir des termes du domaine.
2. Organiser hiérarchiquement les concepts qui sont liés par des relations pères fils représentées par la relation « est un ».
3. Etudier les autres types de relations associés à ces concepts centraux.
4. Organiser les résultats dans un système de visualisation d'ontologie pour permettre une validation partielle de l'expertise par des utilisateurs.

4.3- étapes suivis lors de la construction d'une ontologie

4.3.1- La conceptualisation

Elle consiste à identifier précisément, à partir du **corpus** (ensemble de documents généralement exprimés en langage naturel qui doivent couvrir l'ensemble du domaine de connaissances considéré) et à travers des interviews avec les experts du domaine, les objets conceptuels propres au domaine considéré (concepts, relations et axiomes). Certaines connaissances implicitement utilisées dans le domaine ne sont cependant jamais exprimées, ni dans le corpus, ni par les experts, car elles sont acquises par l'expérience sensorielle et accumulées différemment. Un des points les plus délicats de la conceptualisation consiste donc à identifier ces connaissances. La mise en évidence de ces connaissances implicites ne peut a priori se faire que lors de l'utilisation de l'ontologie.
Des choix liés aux contextes d'usage de l'ontologie doivent donc être effectués dès cette étape.

On obtient alors un modèle conceptuel informel (car exprimé en langage naturel) ou une ontologie informelle. Ce modèle sert de support au travail coopératif de construction de l'ontologie entre les acteurs de maintenance. Il constitue en outre un moyen privilégié pour diffuser l'ontologie auprès de personnes qui souhaiteraient la réutiliser pour leurs propres travaux de recherche ou des applications.

4.3.2- L'ontologisation

L'ontologisation consiste en une formalisation partielle, sans perte d'information, du modèle conceptuel. Il s'agit de transcrire les connaissances exprimées a priori en langage

naturel dans un langage ou paradigme de représentation d'ontologie (le model Frame, le modèle entité relation, le modèle de graphe conceptuel ou réseau sémantique…).

Afin de respecter les objectifs généraux des ontologies, T. GRUBER propose 5 critères permettant de guider le processus d'ontologisation [GRU 93] :

1. la clarté et l'objectivité des définitions, qui doivent être indépendantes de tout choix d'implémentation ;
2. la cohérence (consistance logique) des axiomes ;
3. l'extensibilité d'une ontologie, c'est-à-dire la possibilité de l'étendre sans modification ;
4. la minimalité des postulats d'encodage, ce qui assure une bonne portabilité ;
5. la minimalité du vocabulaire, c'est-à-dire l'expressivité maximum de chaque terme.

4.3.3- L'opérationnalisation

L'opérationnalisation consiste à l'intégration des connaissances dans un système à base de connaissance donc à outiller l'ontologie pour permettre à une machine, via cette ontologie, de manipuler des connaissances du domaine.

Cette étape consiste ainsi à formaliser complètement l'ontologie obtenue précédemment dans le cadre d'un langage de représentation de connaissances **forme**l et **opérationnel**.

Dans le cas où le langage d'ontologisation n'est pas opérationnel, il est nécessaire, soit d'outiller ce langage, dans la mesure du possible, soit de transcrire l'ontologie dans un langage opérationnel. Avant d'être livrée aux utilisateurs, l'ontologie doit bien sur être testée par rapport au contexte d'usage pour lequel elle a été bâtie.

Alors que la construction des ontologies est l'objet de nombreuses recherches, l'utilisation opérationnelle des ontologies a été encore peu étudiée [Furst 03].

Pour intégrer une ontologie au sein d'un SBC, il convient de préciser la sémantique de manipulation des axiomes, qui est liée à l'application envisagée donc à une utilisation opérationnelle bien définie et non au domaine considéré. En effet, la représentation des connaissances terminologiques du domaine ne dépend pas des multiples contextes applicatifs possibles. Au niveau terminologique, la représentation d'un concept ou d'une relation est constituée par un terme, cette représentation ne varie donc pas en fonction de l'objectif

opérationnel du système. Seules les représentations de la sémantique du domaine doivent être adaptées à l'objectif de l'application envisagée.

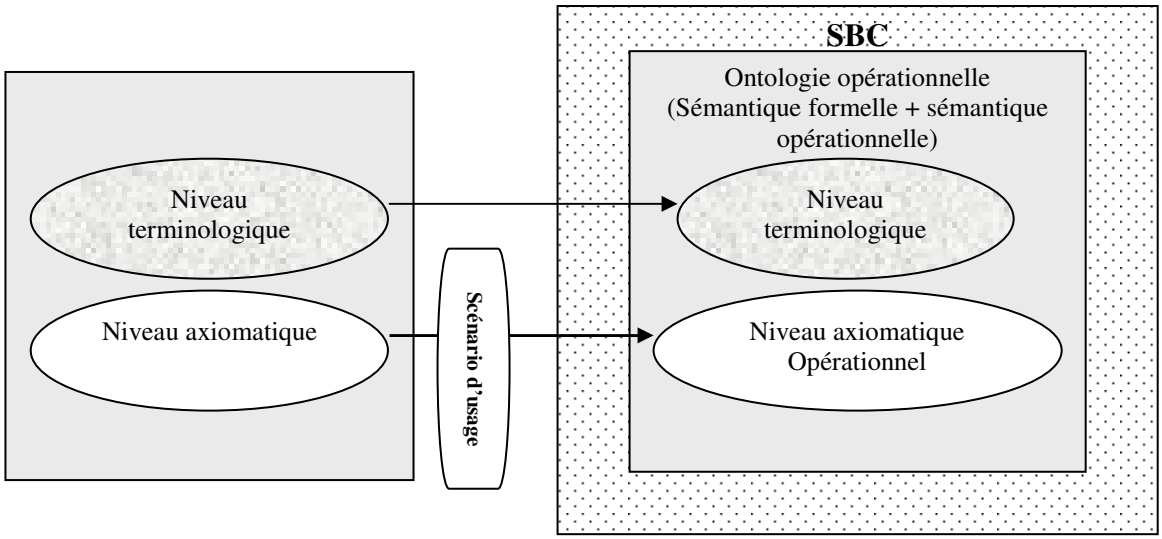


Figure 4.4 : Opérationnalisation d'une ontologie

- **Les scenarii d'usage et l'opérationnalisation des axiomes :**

L'opérationnalisation d'une ontologie ne se conçoit que pour une utilisation opérationnelle bien définie, basée ainsi sur la spécification d'un **scénario d'usage** qui va déterminer la forme opérationnelle de l'ontologie c'est à dire le choix, pour chaque axiome, d'un **contexte d'usage** qui précise à quoi va servir l'axiome et de quelle façon il va être mis en France. Ainsi, un axiome peut être utilisé pour **inférer** de nouvelles connaissances ou pour **valider** l'adéquation d'une connaissance par rapport à la sémantique du domaine considéré. Par exemple, l'axiome « Chaque **Alarme** est produite à cause d'une ou de plusieurs **causes probables**. » peut être utilisé pour inférer les causes d'une alarme donnée.

Les différents contextes d'usage sont :

- le contexte d'usage **inférentiel et explicite** où l'utilisateur déclenche l'application de l'axiome sur une base de faits pour produire de nouvelles assertions ;
- le contexte d'usage **inférentiel et implicite** où l'axiome est appliqué par le système sur une base de faits pour produire de nouvelles assertions ;

- le contexte d'usage de **validation explicite** où l'application de l'axiome est déclenchée par l'utilisateur pour contrôler la conformité sémantique des faits d'une base par rapport au domaine ;
- le contexte d'usage de **validation implicite** où l'axiome est appliqué par le système pour contrôler la conformité sémantique des faits d'une base par rapport au domaine.

  Un **scénario d'usage** consiste donc en un **ensemble de contextes d'usage** choisis pour chaque axiome présent dans l'ontologie. Il décrit donc à quelles fins vont être utilisées les connaissances spécifiées dans l'ontologie, c'est-à-dire à quoi vont servir les axiomes de l'ontologie.

- **choix d'un langage opérationnel**

  Le langage opérationnel à choisir doit permettre de :

1. représenter les concepts, les relations et les axiomes,
2. manipuler les connaissances représentées pour raisonner.
3. utilisation du même paradigme que celui utilisé pour structurer l'ontologie pour éviter la transcription d'un paradigme à un autre dans le processus d'opérationnalisation.
4. adaptation au domaine de connaissances (permettre de manipuler une représentation des axiomes du domaine en accord avec le scénario d'usage).

   Chaque langage offre un ensemble de schémas d'axiomes prédéfinis, tels que la subsomption entre primitives conceptuelles. Choisir un langage offrant un panel de schémas d'axiomes couvrant le plus possible des axiomes du domaine facilite l'opérationnalisation. Si un schéma d'axiomes n'est pas prédéfini dans le langage d'opérationnalisation, il est nécessaire de bâtir ses représentations opérationnelles à l'aide des primitives opérationnelles du langage.

4.4- Evaluation d'une ontologie

L'évaluation d'une ontologie se fait soit en l'utilisant dans des applications soit en la discutant avec les experts de domaine.

4.4.1- Critères d'évaluation d'une ontologie

D'après Gruber [GRU 93], cinq critères permettent de mettre en évidence des aspects importants d'une ontologie :

- La **clarté** : la définition d'un concept doit faire passer le sens voulu du terme, de manière aussi *objective* que possible (indépendante du contexte). Une définition doit de plus être *complète* (c'est à dire définie par des conditions à la fois nécessaires et suffisantes) et documentée en langage naturel.
- La **cohérence** : rien qui ne puisse être inféré de l'ontologie ne doit entrer en contradiction avec les définitions des concepts (y compris celles en langage naturel).
- L'**extensibilité** : les extensions qui pourront être ajoutées à l'ontologie doivent être anticipées. Il doit être possible d'ajouter de nouveaux concepts sans avoir à toucher aux fondations de l'ontologie.
- Une **déformation d'encodage minimale** : une déformation d'encodage a lieu lorsque la spécification influe la conceptualisation (un concept donné peut être plus simple à définir d'une certaine façon pour un langage d'ontologie donné, bien que cette définition ne corresponde pas exactement au sens initial). Ces déformations doivent être évitée autant que possible.
- un **engagement ontologique minimal** : le but d'une ontologie est de définir un vocabulaire pour décrire un domaine, si possible de manière *complète*. Ni plus, ni moins. Contrairement aux bases de connaissances par exemple, on n'attend pas d'une ontologie d'être capable de fournir systématiquement une réponse à une question arbitraire sur le domaine. Une ontologie est la théorie la plus faible couvrant un domaine, elle ne définit que les termes nécessaires pour partager la connaissance liée à ce domaine.

4.4.2- validation d'une ontologie

La validation de l'ontologie en amont de son opérationnalisation est souhaitable. La validité des hiérarchies doit donc être testée dès la phase d'ontologisation, aussi bien du point de vue formel que du point de vue sémantique.

La validation formelle consiste à vérifier que :

- il n'y a pas de cycle (pas de définition en boucle),
- il n'y a pas redondance de concepts ou de relations,
- chaque hiérarchie est bien connexe (pas de concept ou de relation isolé des autres et donc sans aucun sens) [GOM 96].
- La hiérarchie est conforme aux choix de modélisation (par exemple la détection de l'héritage multiple).

La validation sémantique consiste à vérifier :

- la cohérence sémantique de l'ontologie.

La validation sémantique permet de contrôler que la structure des hiérarchies est correcte de point de vu sémantique. Le sens des concepts ainsi que les liens existant entre ces concepts doivent avoir un sens pour les experts du domaine.

Le deuxième cas nécessitant l'évolution d'une ontologie est celui où les objectifs changent, c'est-à-dire que le contexte d'usage est modifié, ou que le domaine de connaissance est élargit. On peut décider soit de construire une nouvelle ontologie avec les connaissances à ajouter et l'intégrer dans l'ontologie déjà constituée (ce qui revient à fusionner les deux ontologies chose qui reste un thème de recherche encore peu exploré), soit d'agréger directement les nouvelles connaissances dans l'ontologie existante.

4.5- Les outils de construction d'ontologies

De nombreux outils de construction d'ontologies utilisant des formalismes variés ont été développés. Beaucoup d'outils offrent des supports pour le processus d'ontologisation, mais peu d'entre eux offrent une aide à la conceptualisation. Ces outils d'aide à la construction d'ontologie sont plus ou moins indépendants des formalismes de représentation. Les **outils orientés conceptualisation** sont essentiellement dédiés à l'extraction, à partir de documents, des concepts du domaine et des relations existant entre eux, mais offrent également des fonctionnalités de structuration permettant de bâtir de véritables ontologies (ex : TERMINAE). Les **outils orientés ontologisation** permettent une structuration et une formalisation des connaissances d'un domaine au sein d'un modèle de représentation (ex : Protégé2000).

Parmi ces outils, on peut citer :

- *KAON* (*Karlsuhe Ontology and Semantic Web*) est un environnement *open source* modulaire, basé dans Java, destiné à la conception, au développement et à la gestion d'ontologies. L'environnement intègre les modules suivants : API, Query, Serveurs (d'ontologie et d'application), Générateur de portails web (basés sur les ontologies), Éditeur d'ontologie (construction et maintenance).

- *HOZO* du MizLab de l'Université d'Osaka ; Hozo est un environnement composé d'un éditeur et d'un serveur d'ontologies. L'éditeur est développé en applets Java afin de pouvoir

fonctionner comme un client via l'Internet. Hozo gère les ontologies et ses instances pour chaque programmeur. Chacun peut lire et copier toutes les ontologies et les instances présentes dans Hozo, mais ne peut pas modifier celles développées par d'autres. La vérification de la consistance d'une instance se fait en utilisant les axiomes définis dans l'ontologie. Hozo gère l'exportation des ontologies et modèles en format XML, RDF, DAML+OIL.

- *ODE* du laboratoire d'Intelligence Artificielle de l'Université de Madrid. Les principaux avantages de ODE (*Ontology Design Environment)* sont le module de conceptualisation pour construire des ontologies et le module pour construire des modèles conceptuels *ad hoc*.

- *ONTOLINGUA* de l'Université Stanford ; Le serveur Ontolingua est le plus connu des environnements de construction d'ontologies en langage Ontolingua. Il consiste en un ensemble d'outils et de services qui supportent la construction en coopération d'ontologies, entre des groupes séparés géographiquement.

- *ONTOSAURUS* de *l'Information Science Institute* de l'Université de *Southern California*. Ontosaurus consiste en un serveur utilisant *LOOM* comme langage de représentation des connaissances, et en un serveur de navigation créant dynamiquement des pages HTML qui affichent la hiérarchie de l'ontologie ; le serveur utilise des formulaires HTML pour permettre à l'usager d'éditer l'ontologie. Des traducteurs du LOOM en Ontolingua, KIF, KRSS et C^{++}, ont été développés.

- *OILED* (OIL EDITOR) de *l'Information Management Group* de l'Université de Manchester développé par Sean Bechhofer et Gary Ng se veut un éditeur freeware d'ontologies, destiné à supporter le développement d'ontologies de petites et moyennes tailles, basées sur le standard DAML+OIL. OILEd n'est pas un environnement de développement d'ontologies offrant des fonctionnalités supportant le cycle complet de conceptualisation et d' opérationnalisation.

- *PROTEGE-2000* du département d'Informatique Médicale de l'Université Stanford ; Protégé-2000 successeur de *PROTEGEWIN,* est un outil, une plateforme et une librairie d'ontologies, qui permettent : 1) de construire une ontologie du domaine, 2) de personnaliser des formulaires d'acquisition de connaissances et 3) de transférer la connaissance du domaine.

- *WEBONTO* du *Knowledge Media Institute* de *l'Open University* ; WebOnto et *TADZEBAO* sont des outils complémentaires. Tadzebao permet aux ingénieurs des connaissances de

tenir des discussions sur les ontologies, en mode synchrone et asynchrone. WebOnto supporte la navigation collaborative, la création et l'édition d'ontologies sur le Web.

- TERMINAE : à travers l'outil d'ingénierie linguistique LEXTER, permet d'extraire d'un corpus textuel les candidats termes d'un domaine [Furst 02]. Ces concepts doivent ensuite être triés par un expert et organisés hiérarchiquement, puis la sémantique du domaine est précisée à travers des axiomes.

- DOE (DIFFERENTIAL ONTOLOGY EDITOR) : développé à l'INA (Institut National Audiovisuel), offre la possibilité de construire les hiérarchies de concepts et relations. La sémantique des relations est ensuite précisée par leur signature. L'ontologie est formalisée en utilisant la syntaxe XML (des exports de l'ontologie dans les langages RDFS, DAML+OIL et OWL sont possibles). DOE ne permet cependant pas d'éditer des propriétés conceptuelles et constitue plus une aide à la structuration des hiérarchies de concepts et de relations qu'un éditeur d'ontologie complet [Fur 04].

- ONTOEDIT (ONTOLOGY EDITOR) : développé par la compagnie Ontoprise, est également un environnement de construction d'ontologies basé sur une méthodologie. Il permet l'édition des hiérarchies de concepts et de relations dans le cadre du paradigme des frames et l'expression d'axiomes algébriques portant sur les relations, et de propriétés telles que la généricité d'un concept. Des outils graphiques dédiés à la visualisation d'ontologies sont inclus dans l'environnement. OntoEdit intègre, dans sa version commerciale, un serveur destiné à l'édition d'une ontologie par plusieurs utilisateurs ainsi qu'un plug-in permettant le test de la cohérence d'une ontologie. Enfin, un plugin nommé ONTOKICK offre la possibilité de générer les spécifications de l'ontologie par l'intermédiaire de questions de compétence. OntoEdit gère de nombreux formats de représentation de connaissance dont DAML+OIL, RDFS et FLogic [Fur 04].

5- domaines d'application des ontologies

5.1- les systèmes à base de connaissances

La principale application des ontologies reste la gestion de données au niveau connaissance.

Les SBC de première génération avaient un niveau unique, symbolique, et c'est cette unicité qui a engendré tous les problèmes de rigidité inhérents à ces systèmes. Parmi ces problèmes on trouve :

- Acquisition des connaissances.
- Production d'explications,
- Manque de robustesse
- Impossibilité de réutiliser tout ou partie de ces systèmes.

L'utilisation des ontologies dans les SBC permet de distinguer *un niveau connaissances* (ou « knowledge level »), du niveau implémentation (ou symbolique), dans le but de décrire les SBC à un meilleur niveau d'abstraction.

Cette indépendance permit à chacun des deux aspects d'être développés techniquement de manière séparée. Le premier niveau celui des connaissances, nécessite une modélisation de celle-ci. Les modèles construits sont ainsi des spécifications. Ce qui permettra par conséquences d'améliorer la compétence des SBC, leur robustesse, leurs capacités d'explication et de réutilisation.

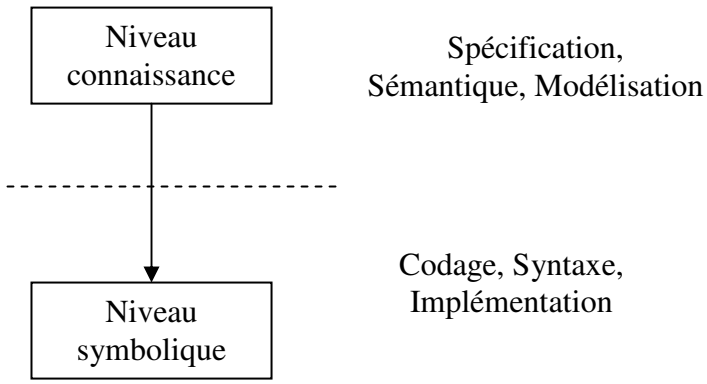


Figure 4.5 : Distinction des connaissances à deux niveaux

5.2- Le Web sémantique :

Le web sémantique est l'une des applications de la recherche d'information dont L'objectif est de retrouver tous les documents pertinents par rapport à une requête de l'utilisateur toute en retrouvant le moins possibles de documents non pertinents.

Les pages Web représentant une énorme masse de connaissances difficilement exploitables sans une assistance automatique. Cette masse augmente sans cesse ainsi que le nombre d'utilisateurs qui veulent pouvoir trouver facilement les informations qu'ils y recherchent.

L'ontologie permet à l'utilisateur lors d'une recherche sur le Web d'accéder non seulement aux documents liés aux mots clés de la requête, mais aussi à ceux qui sont liés ontologiquement à ces derniers (recherche basée sur les connaissances et le sens et non sur le texte), ce qui rend la recherche encore plus pertinente. L'exploitation efficace des ressources du Web suppose donc que les moteurs de recherche puissent accéder à la thématique de chaque page, et non uniquement à des mots-clés qui ne permettent pas toujours de bien discriminer les sujets traités.

Il est clair donc que le Web actuel doit changer d'orientation d'un Web qui se contente de présenter ou d'afficher les informations disponibles, à un Web "intelligent" ou compréhensible. L'ajout d'une couche sémantique (spécifiant les liens sémantiques entre les pages) au dessus de la couche syntaxique type HTML ou XML, qui ne peut servir qu'à décrire formellement les pages Web, est donc nécessaire. Chaque page doit ainsi intégrer une représentation des connaissances qu'elle contient. De plus, les liens sémantiques entre chaque page doivent être spécifiés.

Les ontologies développées pour le Web doivent utiliser le même formalisme. Le W3C a adopté le langage RDF (Ressource Description Framework) comme un des formalismes standards de représentation de connaissances sur le Web. Utilisant la syntaxe XML (Extended Markup Language) qui constitue déjà un standard, le RDF permet de décrire des ressources Web en termes de ressources, propriétés et valeurs. Une ressource peut être une page Web (identifiée par son URI, United Ressource Identifier) ou une partie de page (identifiée par une balise). Les propriétés couvrent les notions d'attributs, relations ou aspects et servent à décrire une caractéristique d'une ressource en précisant sa valeur. Les valeurs peuvent être des ressources ou des littéraux. RDF dispose d'une sémantique formelle analogue à celle des Graphes Conceptuels c'est-à-dire identique à celle d'un fragment de la Logique du premier ordre [Fur 04].

Un schéma de base incluant les primitives sémantiques généralement utilisées a ainsi été ajouté au RDF et constitue ce qu'on appelle le RDF SCHEMA (RDF(S)). Le RDF(S) n'est cependant pas un langage opérationnel de représentation, au sens où il ne permet pas la représentation des axiomes et leur utilisation pour raisonner.

Dans l'optique d'une utilisation d'ontologies sur le Web, le langage RDF(S) a été enrichi par l'apport du langage OIL (Ontology Interchange Language) qui permet d'exprimer une sémantique à travers le modèle des frames tout en utilisant la syntaxe de RDF(S). Le langage OIL a été fusionné avec le langage DAML pour former le DAML+OIL. DAML (Darpa Agent Markup Language) est conçu pour permettre l'expression d'ontologies dans une extension du langage RDF. Il offre les primitives usuelles d'une représentation à base de frames et utilise la syntaxe RDF [Fur 04]. L'intégration de OIL rend possible les inférences compatibles avec les logiques de description, essentiellement les calculs des liens de subsomption.

La combinaison de RDF/RDF(S) et de DAML+OIL a permis l'émergence d'un langage standard de représentation de connaissances pour le Web, OWL, retenu par le W3C. Cependant, si OWL offre la possibilité d'exprimer différentes sortes de propriétés conceptuelles (restrictions de propriétés, axiomes de classes, cardinalités, etc), il ne permet pas encore de représenter tout type d'axiome dans une ontologie.

D'autre part, OWL n'est pas un langage opérationnel en soi car il n'offre pas de mécanisme permettant le raisonnement, même s'il peut servir de format d'échange de représentations conceptuelles de connaissances entre des systèmes qui eux permettent le raisonnement (en particulier des raisonneurs basés sur les logiques de description).

A terme, OWL est amené à voir son expressivité augmenter, et devra devenir un véritable langage opérationnel pour permettre l'émergence d'un Web sémantique conforme aux ambitions proposées par T. BERNERS-LEE : « The vision of the Semantic Web is to provide computer interpretable markup of the Web's content and capability, thus enabling automation of many tasks currently performed by human beings » [Fur 04].

Les ontologies peuvent servir pour l'annotation sémantique des collections d'images, de sons ou d'autres objets non textuels. Il est encore plus difficile pour les machines d'extraire une sémantique significative d'objets multimédias que d'un texte en langue naturelle. Ainsi, ces types de ressources sont habituellement identifiés par des légendes ou des balises de métadonnées. Par contre, puisque les personnes décriront peut-être différemment ces objets non textuels, il importe que les installations de recherche offrent plus qu'une simple correspondance de mots-clés. Idéalement, les ontologies devraient saisir une connaissance supplémentaire à propos du domaine pouvant servir à améliorer la récupération des images.

Les ontologies multimédias peuvent être de deux types : spécifiques du média ou spécifiques du contenu. Les ontologies spécifiques du média peuvent avoir des taxonomies des

différents types de média, et décrire les propriétés des différents médias. Par exemple, une vidéo peut inclure des propriétés pour identifier la longueur du clip et les changements de plan. Les ontologies spécifiques du contenu décrivent le sujet de la ressource, tels que la mise en scène ou les participants. Comme ces ontologies ne s'adressent pas à un média particulier, elles peuvent être réutilisées par d'autres documents portant sur le même domaine. Cette réutilisation améliorerait une recherche simple d'informations concernant un domaine particulier, indépendamment du format de la ressource. Les recherches où le type du média est important peuvent combiner les ontologies spécifiques du média et celles spécifiques du contenu [Yoy 04].

Conclusion

Une mémoire d'entreprise capitalise les savoirs et les savoir-faire cruciaux d'une entreprise. Ces savoirs doivent être définit explicitement et d'une manière persistante pour faciliter leur accès, partage et réutilisation par les membres de l'organisation dans leurs tâches individuelles et collectives. Utiliser une approche ontologique pour la construction d'une telle mémoire s'avère très intéressant car une ontologie peut jouer plusieurs rôle : être un composant d'une mémoire d'entreprise destiné à être explorée par un utilisateur final, être une référence pour indexer/annoter sémantiquement la mémoire à des fins d'amélioration de la recherche de ressources ou d'informations dans la mémoire, être une base pour la communication et l'échange d'information entre les agents humains et logiciels [Die 03].

Dans notre travail, on s'intéresse non seulement à la construction des ontologies mais aussi à leur utilisation dans des systèmes opérationnels. Notre but est l'utilisation des ontologie dans un système à base de connaissance pour former une mémoire d'entreprise Nous définissons pour cela une méthodologie générale de construction d'ontologie basée sur la distinction entre les différents niveau de connaissances. L'opérationnalisation de cette ontologie est basée sur la spécification d'un scénario d'usage opérationnel, permettant de générer automatiquement la forme opérationnelle de l'ontologie adaptée au scénario considéré.

CHAPITRE 5

La conception d'une ontologie OntoTurb

1- Introduction

Nous essayons dans ce chapitre de concevoir une ontologie que nous appelons OntoTurb (**Onto**logie **Turb**ine) qui couvre le domaine de maintenance industrielle et plus précisément la maintenance des turbines à gaz utilisées dans les processus industrielles. « OntoTurb » est une nouvelle ontologie, sa construction est faite à partir de zéro.

Pour la construction de l'ontologie, la première phase consiste à la détection des besoins. Les éléments suivants ont été donc identifiés :

- **Sources de connaissances et d'informations disponibles** dans l'entreprise : pour l'extraction de la connaissance et de l'information, les sources considérées sont des sources internes et externes : bases de données, documentation technique, CD, revues spécialisées, experts, visites des lieux de travail… ;
- **Qualité, volume et disponibilité de la connaissance** : la connaissance pour la construction de notre ontologie est disponible et elle est volumineuse et d'une grande qualité.
- **Les objectifs de l'ontologie** : l'ontologie à concevoir va être plongée dans un système d'aide au pronostic ;
- **Les connaissances prises en compte** : l'ontologie à concevoir doit pouvoir être utilisée pour d'autre objectif que celui d'aide au pronostic. Pour cela les connaissances cernées

sont : les connaissances spécifiques au domaine ciblé (concernant la surveillance des turbines) et les connaissances communes à plusieurs domaines (Formation, Industrialisation…) ;

- **Utilisateurs potentiels** : les utilisateurs concernés par notre ontologie sont les agents de maintenance dont leurs taches consistent à assurer la maintenance prédective des turbines.

Une fois les besoins identifiés, une étape de conceptualisation peut être entamée. Cette étape consiste en l'identification, à partir des sources de connaissances, des concepts du domaine et des relations qui lient ces concepts. La structuration et la formalisation de cette conceptualisation vont ainsi mener, au travers d'un processus d'ontologisation, à la construction d'une ontologie (pouvant être utilisée pour différents objectifs). Une dernière étape d'opérationnalisation va permettre à la définition du contexte d'usage de l'ontologie construite dont le but est d'intégrer l'ontologie dans un système à base de connaissance.

2- objectifs de la conception de notre ontologie

La conception de l'ontologie « OntoTurb » est faite pour atteindre deux objectifs principaux :

- **Le premier objectif est la construction d'une l'ontologie turbine à gaz :**

Cet objectif consiste à décrire l'équipement turbine à gaz avec touts ces composants, et toutes ces informations concernant sa supervision et son contrôle à un niveau d'abstraction. Ce qui permet d'adapter l'ontologie à un domaine spécifique et de l'utiliser ainsi pour différents objectifs dans des domaines différents.

En outre, il y'a un certain nombre de qualités que l'on attend de l'ontologie OntoTurb :

- **Posséder un langage de description des objets suffisamment riche** :

La richesse du langage doit être suffisante pour traduire avec précision la connaissance de l'expert. Elle doit refléter le plus fidèlement possible la conceptualisation du domaine recueillie auprès de celui-ci. Doivent être exprimées à la fois les caractéristiques physiques des concepts (Caractéristiques spectrales, résolutions d'observation, indices de forme, de texture, etc.), et les relations sémantiques qu'ils entretiennent entre eux (relations de composition, de spécialisation,…etc.).

- **Être extensible** :

  L'ontologie doit pouvoir être aisément modifiée ou étendue par l'ajout de nouvelles connaissances.

- **Être réutilisable** :

  L'ontologie doit être conçue pour être réutilisable quel que soit le lieu géographique étudié, et fournir des garanties d'interopérabilité avec les systèmes informatiques susceptibles de l'utiliser.

- **Être compréhensible par l'expert** :

  Enfin il est indispensable que l'ontologie soit intelligible pour l'expert et que celui-ci puisse exercer un contrôle sur elle et sur la base de connaissance, car lui seul est à même de valider la définition d'un concept ou la reconnaissance d'un objet.

- **Le deuxième objectif est la réalisation d'un système d'aide au diagnostic/pronostic:**

  Ce système va permettre de guider l'agent de maintenance dans ses taches de pronostic d'une part et d'autre part de permettre un cumule d'expérience. Elle doit répondre aux questions de types :

  - Quelles sont les causes d'une alarme signalée.
  - Quelles seront les conséquences si la turbine continue à fonctionner avec une valeur d'une alarme signalée.
  - Quelles seront les consignes ou remèdes suggérées pour les causes d'une alarme signalée.
  - …

3- approche de modélisation de la connaissance

L'approche de modélisation adoptée consiste à distinguer *un niveau connaissances* (knowledge level), du niveau implémentation (ou symbolique), dans le but de décrire les SBC à un meilleur niveau d'abstraction.

Cette approche a pour but de construire le modèle d'expertise du système. Ce modèle consiste à :

1. construire l'ontologie du domaine qui est une représentation conceptuelle des connaissances du domaine (le modèle du domaine), indépendamment des utilisations opérationnelles qui peuvent être faites. Cette Modélisation est basée sur un modèle sémantique pour permettre l'expression des connaissances.

2. opérationnaliser l'ontologie qui consiste à préciser la sémantique de manipulation des axiomes, qui est liée à l'application envisagée. Un **scénario d'usage** (niveau tache) doit donc être spécifiée. Ce **scénario d'usage** va déterminer, pour chaque axiome, un **contexte d'usage** (niveau inférence) précisant à quoi va servir l'axiome et de quelle façon il va être mis en oeuvre.

Une fois le modèle conceptuel défini, celui-ci va servir de cadre pour la constitution effective de la base de connaissances. Il s'agit d'instancier le modèle conceptuel sur le domaine considéré.

4.- Construction de l'ontologie OntoTurb

Les techniques choisies pour la construction de notre ontologie OntoTurb dépendent des sources de connaissances :

4.1- processus d'acquisition des connaissances

L'acquisition des connaissances est appréhendée comme un processus cyclique de modélisation progressive des connaissances.

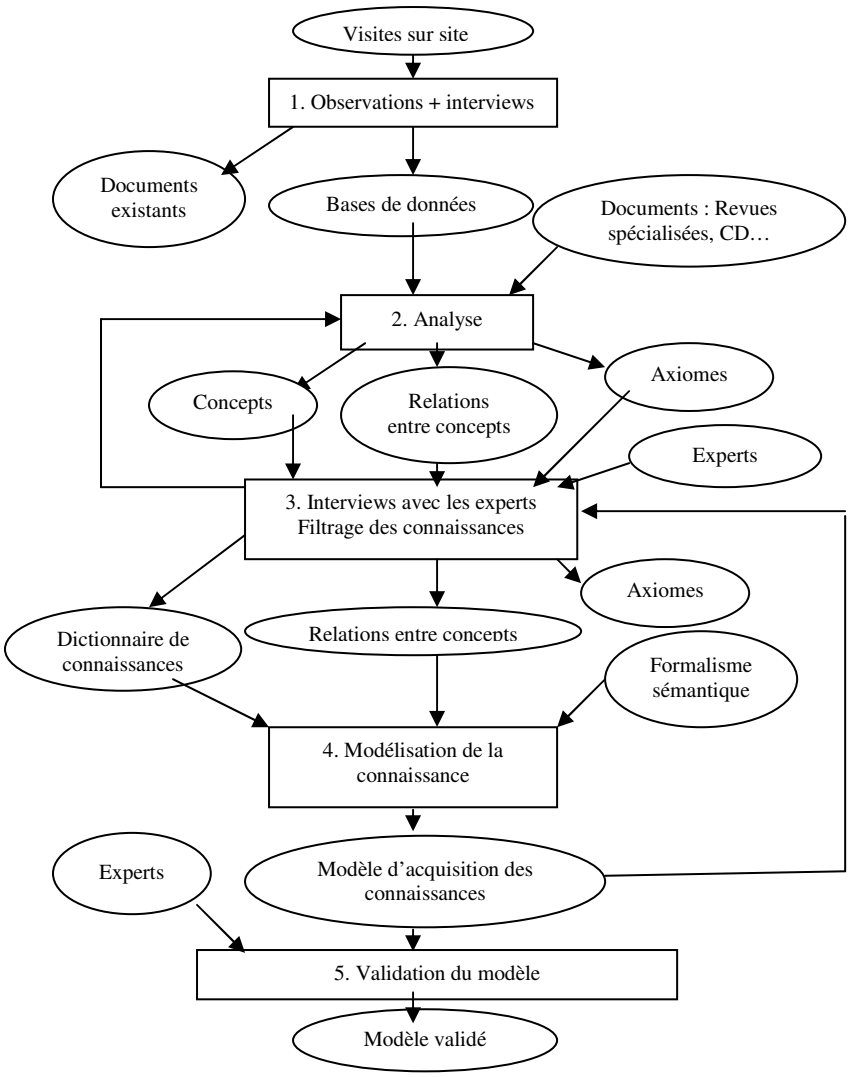


Figure 5.1 : Un processus d'acquisition des connaissances

1. A partir des visites effectuées sur sites, les bases de données et les documents existants ont été identifiés.
2. L'étape suivante consiste à analyser et exploiter les documents et les bases de données existants plus d'autre sources externes (CD, Revues spécialisées…). Cette exploitation nous a

permis d'identifier les connaissances du domaine structurées (une première organisation des connaissances, mais sans le choix d'un modèle de représentation de connaissances).

3. La troisième étape consiste à interviewer des experts du domaine, à différentes reprises, en se référant à la structuration obtenue à l'étape précédente pour aboutir à un dictionnaire de connaissances filtré (sans synonymes ni homonymes), une liste de relations et une liste d'axiomes. Ce qui va servir d'affranchir l'étape de modélisation.
4. l'étape suivante permettra d'aboutir à un modèle d'acquisition des connaissances. Ce modèle va être affiné progressivement en revenant aux experts à chaque fois. Le résultat obtenu à l'issue de cette phase est un premier modèle des connaissances à utiliser pour la constitution de notre ontologie.
5. La dernière étape consiste à valider le modèle obtenu à l'étape précédente en collaboration avec l'expert du domaine.

4.2- Conceptualisation de l'ontologie :

Rappelons qu'une conceptualisation est une description des concepts (entités, attributs) et relations qui existent pour un agent ou une communauté d'agents dans un monde réel.

- ***L'extraction de terminologie à partir de corpus :***

➢ Les concepts :

Les concepts que constitue notre ontologie sont en nombre de 700 concepts environ. La plus part de ces concepts sont repérés par des termes exprimés en gras dans le corpus en annexe B.

Pour l'extraction des concepts du domaine, on a utilisé la technique utilisé dans la méthode de conception des systèmes d'information MERISE qui consiste à :

1. collecter tous les concepts de domaines dans un dictionnaire de connaissances brut.
2. éliminer les polysémies et les synonymes en gardant les concepts les plus consensus.
3. regrouper ensemble les concepts qui peuvent former une seule entité.

On aboutit ainsi à une liste d'entités. A chaque entité est liée un ensemble de caractéristiques ou d'attributs.

➢ Les relations :

Pour les relations, en se base toujours sur des techniques utilisées dans la conception des systèmes d'information qui consistent à trouver les relations entre les concepts, à partir des phrases du corpus.

Exemple : la phrase « les composants du système sont… » montre qu'il y'a deux concepts « système » et « composant » liés par une relation de spécialisation/généralisation. Un ensemble de composants forme un système (généralisation). Un système est formé par un ensemble de composant (spécialisation).

- **Axiomes :**

Un axiome est une phrase dans la logique du premier ordre qu'on assume qui est vraie sans preuve. En pratique, on utilise les axiomes pour référer à des phrases qui ne peuvent pas être représentées en utilisant seulement les caractéristiques et les valeurs d'un concept.

Les phrases suivantes représentent des axiomes pour notre ontologie OntoTurb [Lal 07] :

1. Tout **instrument** est aussi un **composant.**
2. Une **turbine à gaz** est aussi un **équipement**
3. Si un **paramètre** (température, pression, vibration…) donné par un instrument monté sur un **composant** est inférieur ou supérieur à une valeur normale alors une **alarme** est signalée ou un **arrêt complet** de **l'équipement** est effectué.
4. **Un système** fait partie **d'un équipement.**
5. **Un composant auxiliaire** est un **composan**t faisant partie d'un **système**.
6. **Un composant de base** est un **composant** faisant partie de **l'équipement.**
7. **Un élément de composant** est un **composant** faisant partie **d'un composant**
8. Chaque **instrument** surveille **un composant** déterminé
9. chaque **instrument** donne des valeurs d'un **paramètre** de contrôle (température, pression, vibration…) sur le **composant surveillé.**
10. Une **Alarme** peut être produite à cause d'une autre **Alarme.**
11. Chaque **Alarme** est produite à cause d'une ou de plusieurs **causes probables.**

12. Chaque **arrêt complet** est produit à cause d'une ou de plusieurs **causes probables.**

13. Chaque **cause probable** possède un ou plusieurs **remèdes.**

14. une **cause probable** peut être produite à cause d'une autre **cause probable.**

4.3- L'ontologisation de OntoTurb :

Rappelons qu'une ontologisation n'est qu'une représentation conceptuelle des connaissances d'un domaine, indépendamment des utilisations opérationnelles. Il s'agit de transcrire les connaissances dans un langage ou paradigme de représentation d'ontologie.

*4.3.*1- *formalisation de OntoTurb*

Pour l'ontologisation de notre ontologie, on a utilisé un modèle sémantique parce qu'il utilise des concepts de modélisation du monde réel qui sont riches en sémantique. Les relations permettent de représenter la sémantique du monde réel en terme de :

- Classification
- Association
- Agrégation
- Généralisation
- Spécialisation

- Classification : les entités de même structure sont en général regroupées dans des **classes**, ce qui permet de manipuler l'ensemble des éléments possédant les mêmes caractéristiques. L'entité « instruments » par exemple est une classe qui regroupe tous les instruments qui surveillent la turbine.

- Association : une association est un type de lien qui permet de relier plusieurs entités par un lien sémantique. En utilisant une association, on veut exprimer un lien entre deux entités, sans pour autant définir une nouvelle entité, comme c'est le cas pour l'agrégation. Par exemple les entités **instrument** et **paramètre** sont liées par une association appelée **« contrôler »**

comme c'est montré dans la phrase suivante : « chaque **instrument** ***contrôle*** un **paramètre »**.

- Agrégation : une agrégation est un type de lien qui permet de regrouper différentes entités en une nouvelle entité de niveau supérieur. L'identité de cette entité de niveau supérieur est déterminée par ses composants ou entités de niveau inférieur. Par exemple le regroupement des entités **système** et **composant de bases** donne une nouvelle entité **équipement**.

- Généralisation : la généralisation est un type de lien qui consiste à créer une nouvelle entité (ou une nouvelle classe), à partir d'une union de plusieurs entités (ou classes) de niveau inférieur. Elle exprime un lien appelé **IS.A** entre un objet spécialisé et un objet générique. Si A est lien avec B par un lien **IS-A** « A **IS-A** B », ce lien signifie que toute instance de A est aussi une instance de B. La classe de niveau supérieur ne contient pas d'entités propres puisque ses entités sont celles de ses sous-classes. Par exemple les entités instrument et composant sont liés par une telle relation «un **instrument** IS.A **composant** »

L'application répétée de la généralisation conduit à une hiérarchie IS.A dont les principales propriétés sont :

- *L'héritage de propriétés :* Les propriétés de l'objet générique sont *héritées* par les objets spécialisés.
- L'héritage multiple : Il est généralement admis qu'un objet puisse être généralisé de plusieurs façons. Ainsi l'objet spécialisé hérite des propriétés de plusieurs objets génériques.

- Spécialisation : à l'inverse de la généralisation, la spécialisation est un type de lien qui consiste à créer une (ou plusieurs) sous-classe à partir d'une classe de niveau supérieur, en lui ajoutant des attributs propres. Bien que le mode de construction des généralisations et des spécialisations diffère, elles sont généralement représentées de façon identique dans un schéma. La spécialisation/généralisation est aussi appelée hiérarchie de classe, hiérarchie « IS-An » ou hiérarchie d'héritage (la sous-classe hérite des attributs de la superclasse).

4.3.2- le Modèle Conceptuel des Connaissances (MCC):

À partir du dictionnaire des connaissances et des relations recensées du monde réel, grâce à un modèle sémantique, la connaissances est modélisées comme suit :

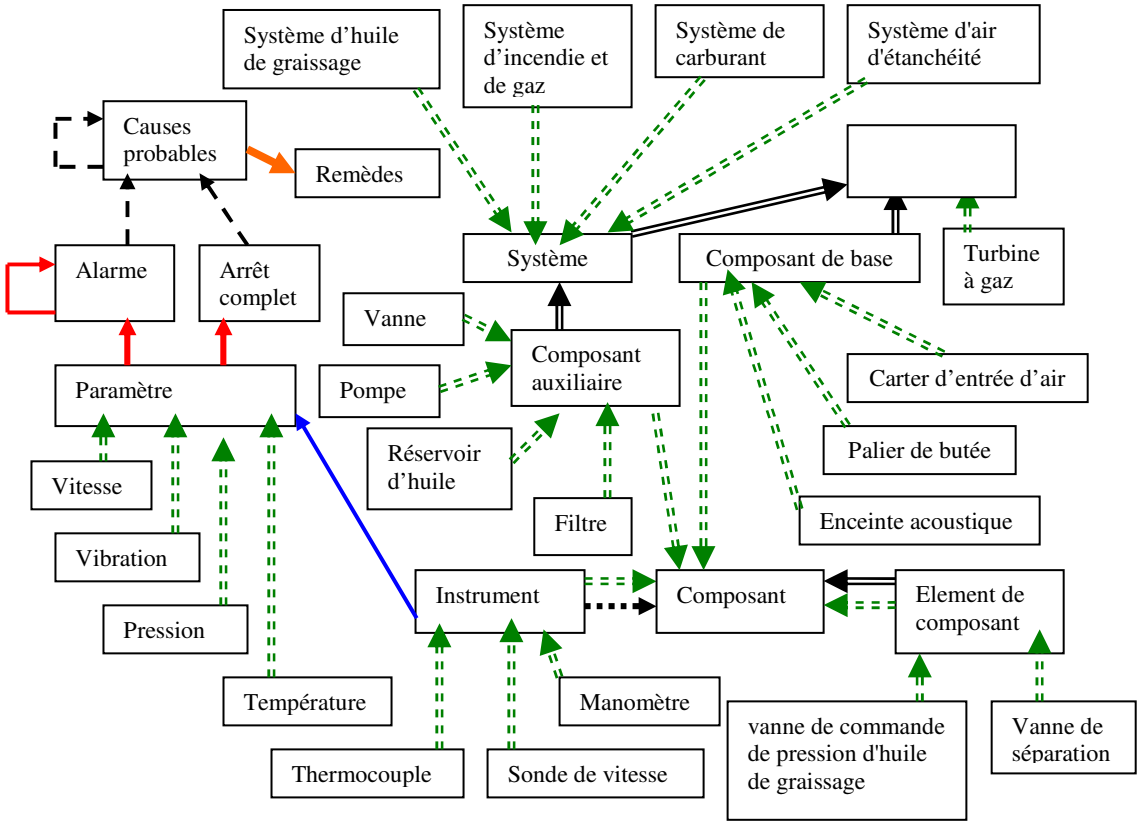


Figure 5.2 : MCC représentant une partie de l'ontologie OntoTurb

Représente une généralisation **: est-un.**

Représente une association **: contrôler.**

Représente une relation **: partie-de.**

Représente une association **: surveiller**

Représente une association **: se produire à cause**

Représente une association **: Produire**

Représente une association **: Posséder**

Ce modèle représente une partie du modèle conceptuel des connaissances. C'est le résultat d'un travail long et fastidieux issu des deux l'étapes : conceptualisation et ontologisation de l'ontologie. Le modèle représente les concepts manipulés dans le domaine visé et les relations structurelles et fonctionnelles qui existent entre ces concepts. Par exemple les

concepts **« système »** et **«composant »** sont liés structurellement par une relation **« partie de »** qui montre qu'un composant fait partie d'un système tandis que les concepts **« paramètre »** et **« alarme »** sont liés fonctionnellement par une relation **« produire »** qui montre que suite à une valeur d'un paramètre une alarme est produite ou signalée.

5- l'opérationnalisation de OntoTurb :

Rappelons qu'une opérationnalisation consiste à l'intégration des connaissances dans un système à base de connaissance donc à outiller l'ontologie pour permettre à une machine, via cette ontologie, de manipuler des connaissances du domaine.

Pour l'opérationnalisation de notre ontologie, on a utilisé l'outil Protégé2000 version 3.1.1 [Prot 06] dans lequel les connaissances sont représentées à base de frames.

Un frame est une structure de données qui représente un objet typique, comme une automobile ou un instrument de musique, ou une stéréotype, comme conduire une automobile ou jouer un morceau de musique. Plus formellement, un frame est un réseau hiérarchisé de nœuds et de relations. Les nœuds des niveaux supérieurs décrivent des informations qui sont toujours vraies dans le domaine considéré. Les nœuds des niveaux inférieurs possèdent des attributs, auxquels sont associées des valeurs [Masi 91]. Les langages à base de frames apparaissent comme une synthèse de différents formalismes de représentation, tels que les réseaux sémantiques, les prototypes…

Dans le modèle conceptuel des connaissances de OntoTurb (figure 5.2), touts les concepts (entités) encadrés sont des classes. Les relations « IS-A » indique qu'une classe est une « superclasse » d'une autre dite « sous-classe ». Chaque classe possède des slots qui la caractérise et des facettes qui permettent de spécifier des contraintes sur les valeurs de slots. Les autres types de relations peuvent être établi par des slots de type instance.

Le modèle conceptuel des connaissances conçu est extensible du point de vue modélisation et instanciation.

Le raisonnement naturellement associé aux frames est la classification d'instances, qui consiste à déterminer suivant les caractéristiques d'un nouvel individu la classe à

laquelle il appartient. La théorie des frames n'étant néanmoins fondée sur aucun modèle formel, aucune inférence n'est imposée et toute latitude est ici laissée au concepteur.

Ce dernier point proscrit en pratique tout raisonnement sur les frames. Néanmoins, l'utilisation des Frames pour notre ontologie OntoTurn peut être envisagée, dans la mesure où ceux-ci sont ensuite exprimables dans un formalisme logique à des fins d'inférence. L'utilisation de Jess [Java Expert System Shell] couplé avec Protégé nous permet de le faire.

5.1- Processus d'opérationnalisation envisagé

Rappelons que pour intégrer une ontologie au sein d'un SBC, il convient de préciser la sémantique de manipulation des axiomes, qui est liée à l'application envisagée donc à une utilisation opérationnelle bien définie. Les représentations de la sémantique du domaine doivent donc être adaptées à l'objectif de l'application envisagée, basée ainsi sur la spécification d'un **scénario d'usage** (niveau tache) qui va déterminer la forme opérationnelle de l'ontologie c'est-à-dire le choix, pour chaque axiome, d'un **contexte d'usage** (niveau inférence) qui précise à quoi va servir l'axiome et de quelle façon il va être mis en oeuvre.

Avant de procéder à l'opérationnalisation, le choix d'un langage opérationnel est nécessaire. Le processus d'opérationnalisation adopté est représenté dans la figure suivante :

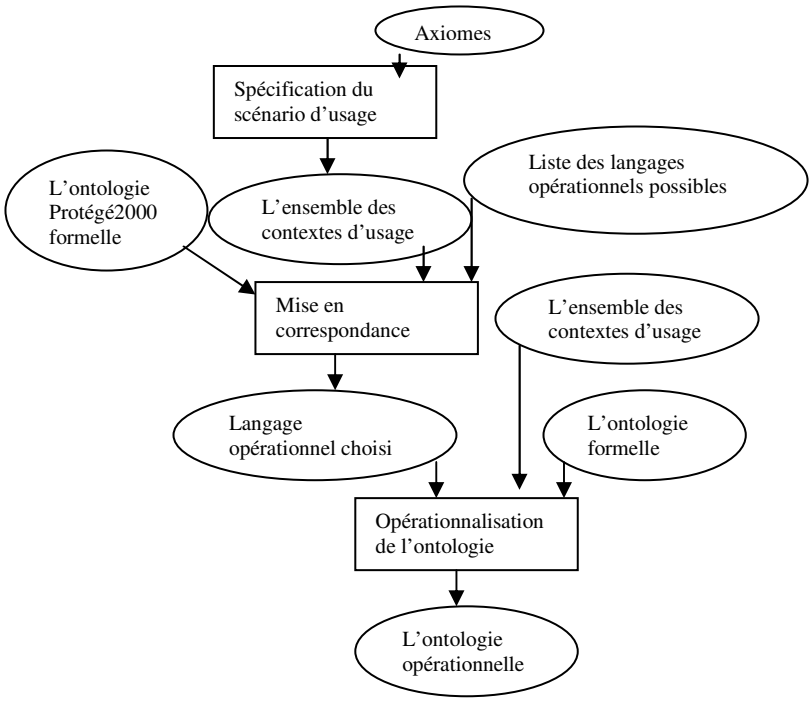


Figure 5.3 : processus d'opérationnalisation de l'ontologie

5.2- le scénario d'usage (modèle des taches) :

Les connaissances représentées par ce modèle sont des connaissances causales qui décrivent l'enchaînement des inférences aboutissant au diagnostic/pronostic en partant des paramètres anormaux signalés (alarmes) par des capteurs. Ces paramètres peuvent être déclanchés à cause d'autres paramètres ou à cause de l'avènement de certains événements (causes). Par inférence, ces causes aboutissent au diagnostic/pronostic. La stratégie utilisée est donc une stratégie dirigée par les données (alarmes).

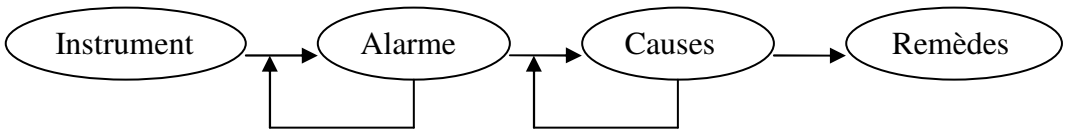


Figure 5.4 : processus d'aide au diagnostic/pronostic

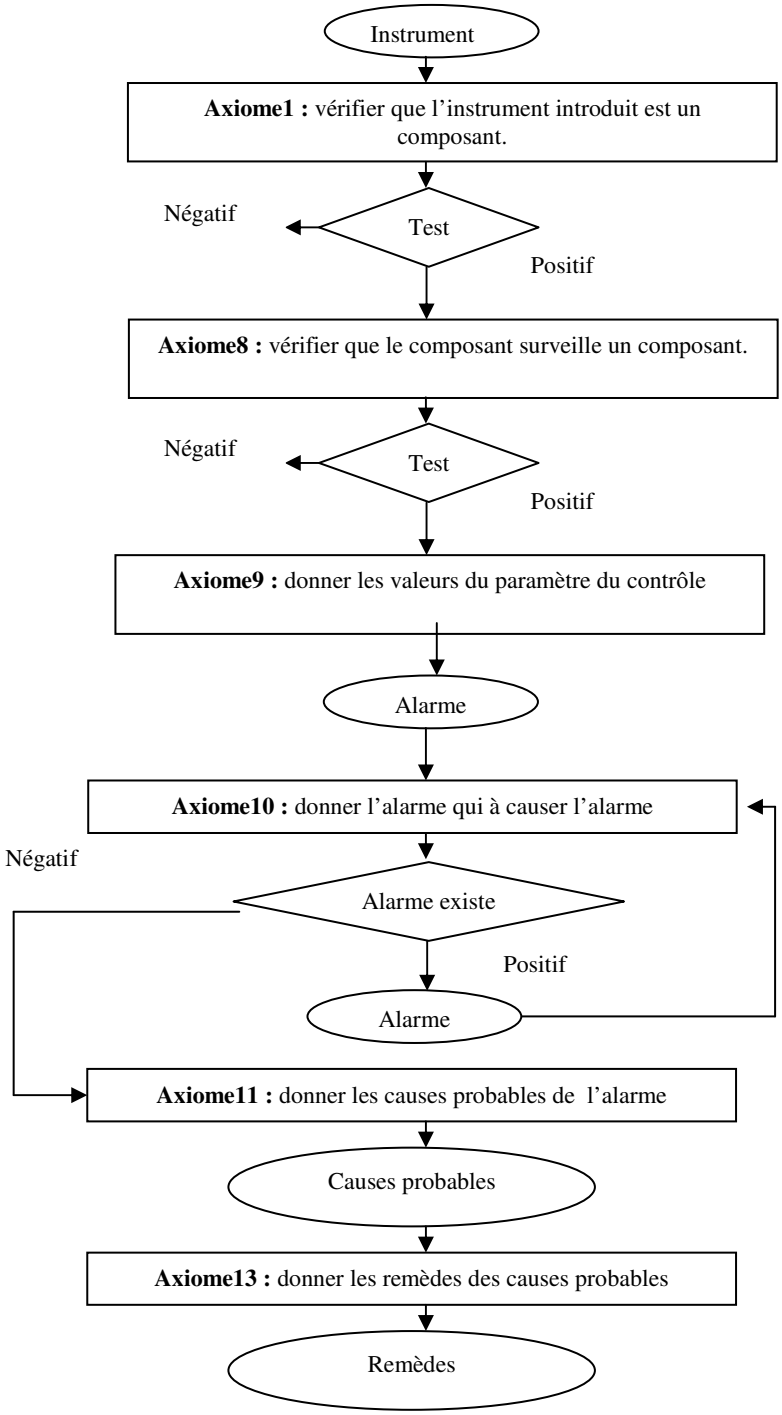


Figure 5.5: le scénario d'usage

En détectant une alarme signalée dans le système de surveillance, l'utilisateur consulte le système de diagnostic en lui introduisant l'instrument signalant l'alarme.

Le système suite à une succession de contextes d'usages inférentiels et implicites donne les causes de l'alarme signalée et les remèdes correspondantes**.**

5.3- Représentation des axiomes en logique (modèle d'inférence):

Pour les représentations ontologiques des axiomes, on utilise donc la logique du premier ordre parce qu'elle est le formalisme utilisé dans Jess.
Les axiomes 1, 8, 9, 10, 11 et 13 dans la conceptualisation peuvent se traduire en logique comme suit :

Axiome 1 : ∀ I, Instrument (I) => Composant (I).

Axiome 8 : ∀ I, ∃ J, Instrument (I), Composant (J) => surveille (I, J).

Axiome 9 : ∀ I, ∃ P, Instrument (I), Paramètre (P) => contrôle (I, P).

Axiome 10 : ∃ A, ∃ B, Alarme (A), Alarme (B) => produire-à-cause (A, B).

Axiome 11 : ∀ A, Alarme (A), ∃ C, cause-probables (C) => produire-à-cause (A,C)

Axiome 13 : ∀ C, cause-probables (C), ∃ R, remède (R) => possèder (C,R).

6- Architecture du système de gestion des connaissances

Pour la valorisation des connaissances capitalisées, le système de diagnostic développé doit :

- permettre au cogniticien de mettre à jour les connaissances,
- aider l'agent de maintenance dans ces taches de diagnostic/pronostic,
- permettre à l'entreprise de profiter des nouvelles technologies de l'information (intranet…) [Ouleb 02].

Pour atteindre ces objectifs, on propose l'architecture suivante du système :

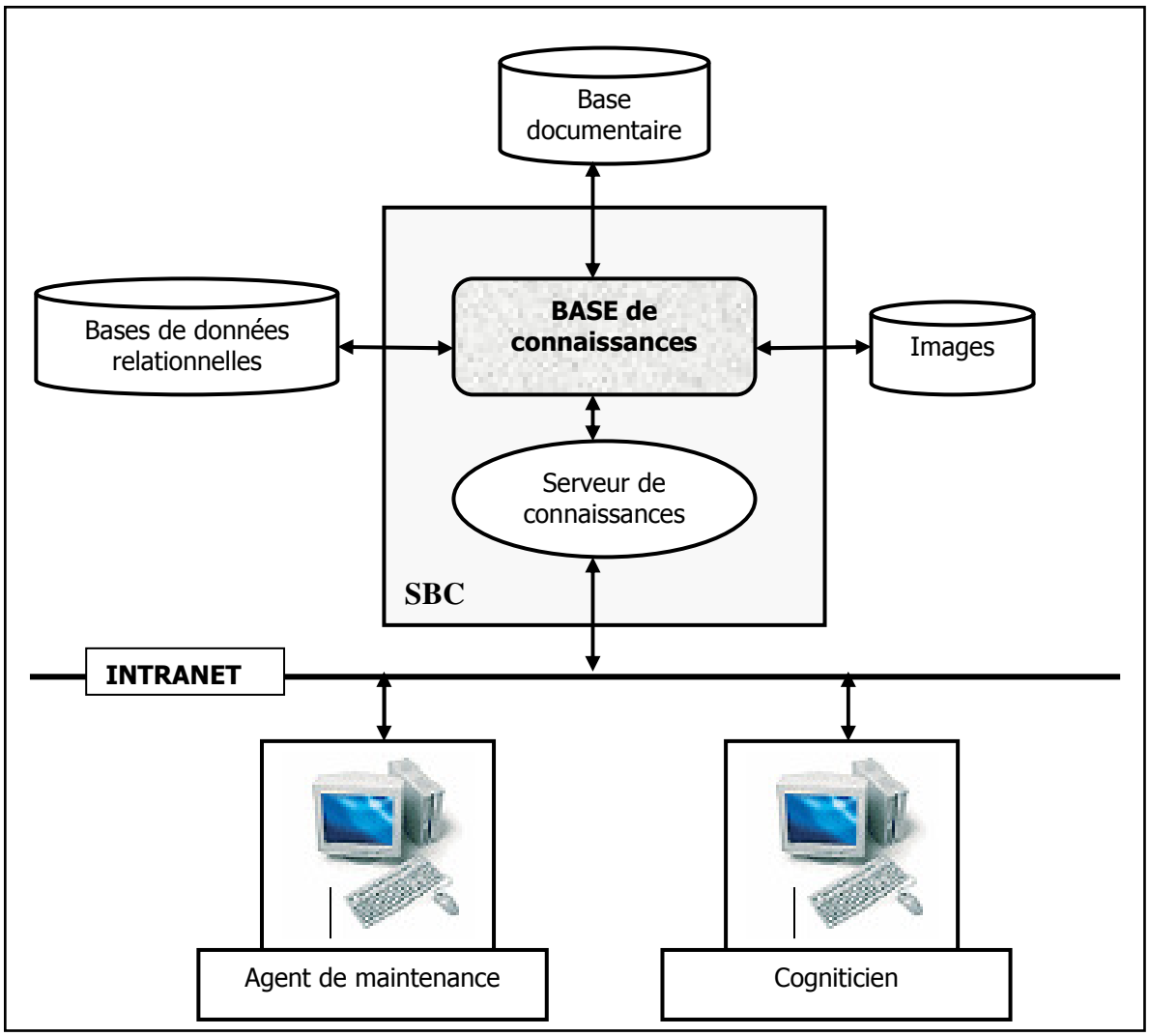


Figure 5.6 : architecture générale du système de gestion des connaissances

CHAPITRE 6

Implémentation

1- Environnement de développement

1.1- Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'implémentation des modèles développés au cours du chapitre précédant. Nous commençons par une présentation des outils et environnements utilisés, protégé2000, Jess et JessTab. Ensuite nous présentons l'application réalisée et nous terminons par une évaluation de l'application.

1.2- Présentation du protégé2000 :

Protégé2000 [Prot 06] est un éditeur qui permet de construire une ontologie pour un domaine donné. Protégé 2000 est un éditeur de base de connaissance indépendant de la plate forme. C'est un environnement à base de frames pour le développement des systèmes à base de connaissances.

Protégé est également une librairie Java qui peut être étendue pour créer de véritables applications à base de connaissances en utilisant un moteur d'inférence pour raisonner et

déduire de nouveaux faits par application de règles d'inférence aux instances de l'ontologie et à l'ontologie elle même (méta-raisonnement).

Dans le contexte du web sémantique des « plugin » pour les langages RDF, DAML+OIL et OWL ont été développés pour Protégé. Ces « plugin » permettent d'utiliser Protégé comme éditeur d'ontologies pour ces différents langages, de créer des instances et les sauver dans les formats respectifs.

Il est également possible de raisonner sur les ontologies en utilisant un moteur d'inférence général tel que JESS ou des outils d'inférence spécifiques au web sémantique basés sur des logiques de description tels que RACER. Ces deux outils peuvent être facilement intégrés à Protégé [cet 06].

Protégé 2000 utilise le modèle de connaissance OKBC "The **O**pen **K**nowledge-**B**ase **C**onnectivity" comme base pour son propre modèle. Ce modèle facilite l'interopérabilité entre systèmes de représentation des connaissances ce qui permet le partage et la réutilisation des connaissances. Il fournit un modèle de connaissances à base de frames et une riche et expressive **API** " **A**pplication **P**rogramming **I**nterface " pour interagir avec les serveurs des bases de connaissances.

Une ontologie dans protégé est structurée en classes, slots, facettes et axiomes.
La base de connaissances de Protégé 2000 inclut l'ontologie et les instances individuelles des classes, avec des valeurs spécifiques des slots.

a)- **Classes** et **instances** : Les classes de protégé 2000 constituent une hiérarchie taxonomique. La racine de cette hiérarchie est la classe **THING**. Si une classe A est une sous classe d'une classe B, chaque instance de A est aussi une instance de B. Protégé supporte aussi l'héritage multiple entre les classes. Ainsi une classe peut avoir plus d'une super classe.

Dans protégé 2000, les classes elles-mêmes peuvent être instances de classes, une méta classe est une classe dont les instances sont eux-mêmes des classes.

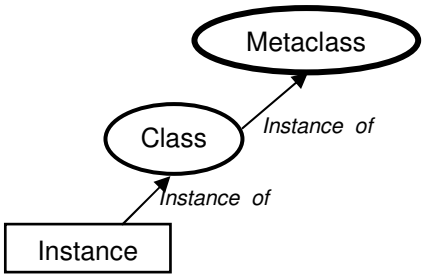


Figure 6.1: relation entre Metaclass, classe et instance [JessT 03]

b)- **Slots** : Les slots dans protégé sont des frames spéciales attachées aux classes pour définir leur attributs. Quand un slot est attaché à un frame il peut avoir une valeur.

Un slot peut être attaché à un frame de deux façons comme un slot modèle (Template Slot) ou comme un slot propre (Own Slot).

Un slot propre attaché à un frame décrit les propriétés d'un objet représenté par ce frame (un individu ou une classe).les slots propres attachés à une classe ne sont pas hérités par ses sous classes ou propagés à ses instances. Par exemple, le slot documentation pour une classe.

Les slots modèles peuvent être attachés uniquement aux frames de classes, un slot modèle attaché à une classe est hérité par ses sous-classes. De plus, un slot modèle sur une classe devient un slot propre sur les instances de cette classe.

c)- **facette** : Les facettes décrivent les propriétés des slots. Elles permettent de spécifier les contraintes sur les valeurs de slots.
Ces contraintes incluent les cardinalités des slots et les restrictions sur les types de valeurs. Exemple : valeur minimale et maximale pour un slot numérique.

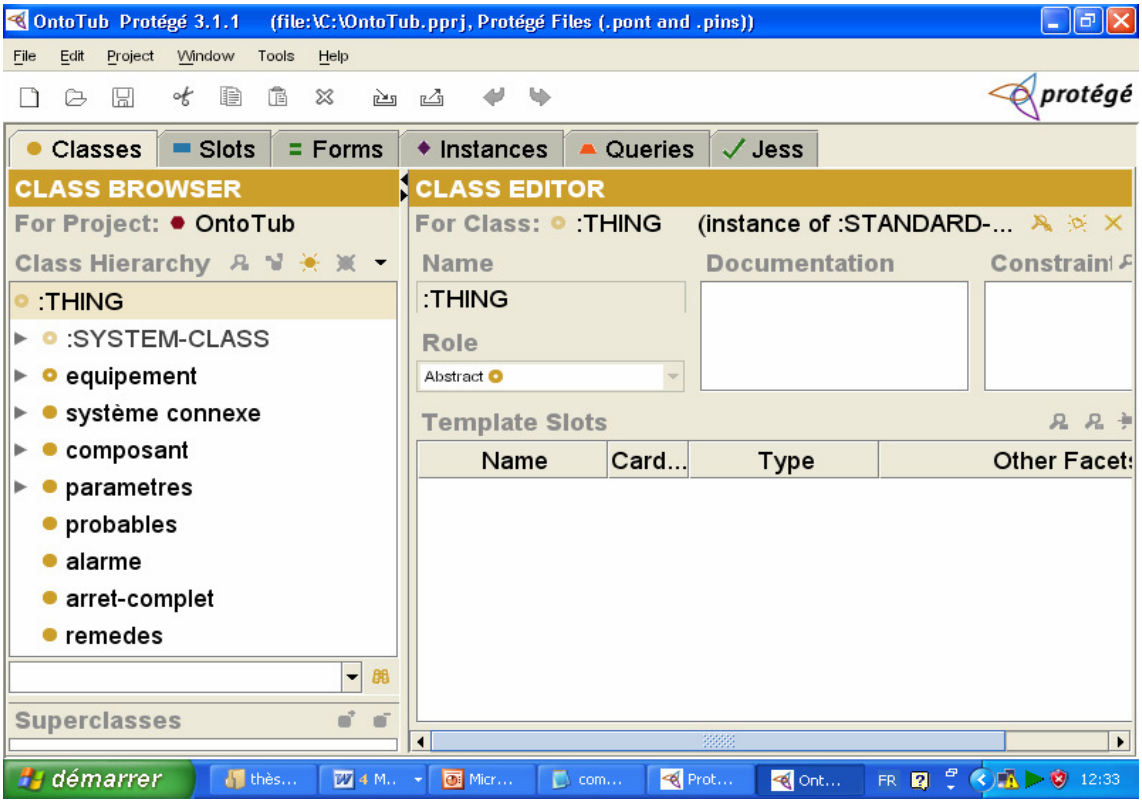


Figure 6.2 : présentation d'une ontologie dans Protégé2000

Protégé 2000 permet la saisie de données structurées sous forme d'instances de l'ontologie en utilisant des fenêtres (des formulaires) d'acquisition de connaissances pour acquérir les informations des instances. Quand l'utilisateur définit une classe, il lui attache des slots. Le système protégé2000 génère automatiquement une fenêtre pour acquérir les instances de cette classe. Cette fenêtre peut être personnalisée par l'utilisateur.

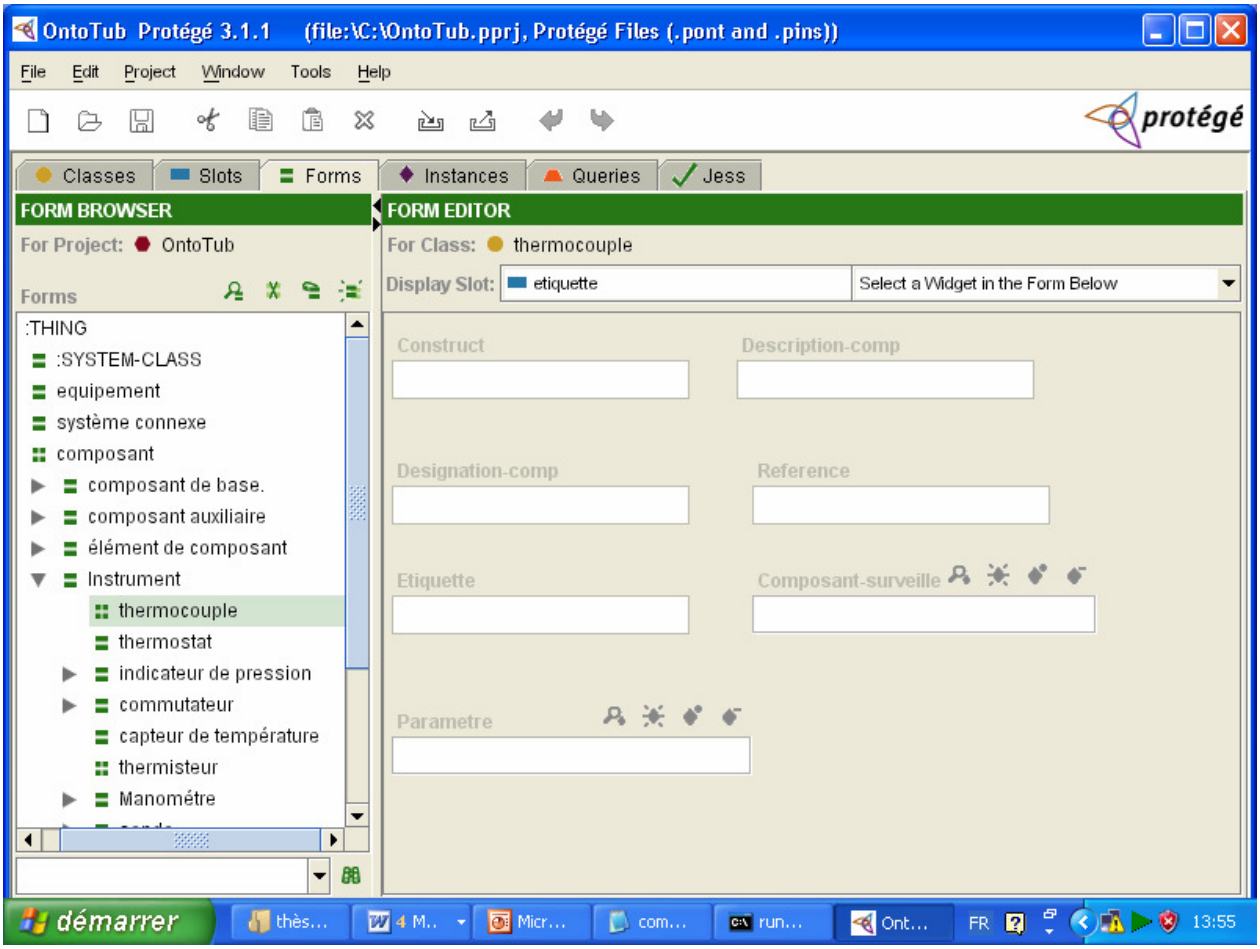


Figure 6.3 : représentation d'un formulaire d'acquisition des connaissances

1.3- JESS

JESS (**J**ava **E**xpert **s**ystem **S**hell) [JESS 07] est un programme permettant la manipulation de systèmes experts d'ordre 1. Il est écrit en java par Ernest Friedman-Hill aux « Sandia National Laboratories in Livermore, Canada », et possède de nombreuses connexions avec ce langage (utilisation d'objets java dans les règles dans un sens, utilisation de systèmes experts dans des programmes java dans l'autre sens).

JESS est un langage descendant de CLIPS[4], l'implémentant tout en l'étendant en Java. C'est donc un moteur d'inférence associé à un environnement de script. JESS s'exécute aussi comme applet java. Comme dans LISP, tout code sous JESS est sous forme d'appel de fonction.

JESS dispose d'une ligne de commande interactive (JESS >), une version graphique de cette même ligne de commande est également disponible, c'est la console JESS.

JESS utilise un algorithme spécial appelé "Rete" pour réunir les règles aux faits.

Il y a trois façons de représenter la connaissance en JESS :

- **Règles**, qui sont principalement projeté pour les connaissances heuristiques basées sur l'expérience.
- **Fonctions**, qui sont principalement projeté pour les connaissances procédurales.
- **Programmation orienté objets**, qui sont principalement projeté pour les connaissances procédurales.

Sous JESS les identificateurs connus dans les autres langages sont appelés des atomes, JESS utilise différent format de nombres, des chaînes et les listes qui sont des unités syntaxiques fondamentales de JESS.

Les variables sont des atomes commençant par (?). La variable avec le caractère ($) au début réfère à une multivariable, spécifiant un type spécial de liste appelé « multifield ». Nous pouvons définir avec JESS nos propres fonctions en utilisant le constructeur « deffunctions». La base de connaissance sous JESS est définit par un ensemble de faits (facts), pour son développement il existe différentes commandes : deffacts, deftemplate, definstance, assert, modify,.. etc. L'exploitation de la base est assurée par des règles et des requêtes permettant la recherche de relations entre les faits de la base, à travers les commandes defrules et defqueries en appliquant un raisonnement en chaînage avant. Pour utiliser un chaînage arrière il faut activer ce mode de raisonnement via la fonction « do-backward-chaining

Exemple d'application de JESS :

---

[4] C Language Integrated Production System. Langage spécialisé pour la définition et l'exploitation de système experts, mis au point à partir de 1984 au Johnson Space Center de la NASA. Gratuit et efficace, c'est un outil très utilisé en IA. Récupérée de « http://jargonf.discu.org/index.php/CLIPS »

- Ingénierie ontologique (Jess comme macro/scripting for ontologies)
- Importation d'ontologies (Jess as input filter)
- Web sémantique
- Méthode de resolution de problèmes
- "Agent frameworks" (JadeJessProtege)
- Développement des systèmes experts classiques.

1.4- Jess-Tab

JessTab est un couplage entre protégé-2000 et JESS [Hen 04]. Il fournit une fenêtre de JESS dans protégé. Jesstab et un ensemble d'extensions de JESS pour la transformation de la base de connaissance de protégé en des faits de JESS ainsi que la manipulation de la base de connaissance de protégé. Ainsi JessTab peut être utilisé pour créer des programmes JESS qui prennent avantages de la base de connaissances protégé .Par exemple des règles sous JESS peuvent s'associer aux instances de protégé. L'intégration Protégé-JESS permet de développer la base de connaissances graphiquement dans protégé et exécuter la méthode de résolution du problème dans JESS. JessTab fournit des éditeurs pour les constructeurs JESS, comme les règles et les fonctions. Nous pouvons utiliser ces éditeurs pour afficher les définitions de JESS et même les redéfinir. En plus, Jesstab peut stocker ces définitions avec la base de connaissances de protégé. Alternativement, nous pouvons stocker le programme JESS comme fichier séparé chargé au démarrage avec la base de connaissance. Une utilisation typique de JessTab est de développer initialement une petite version de la base de connaissances dans protégé puis développer le code JESS qui opère sur cette base. Une fois le code JESS est performant nous pouvons étendre la base de connaissance [Ang 03].

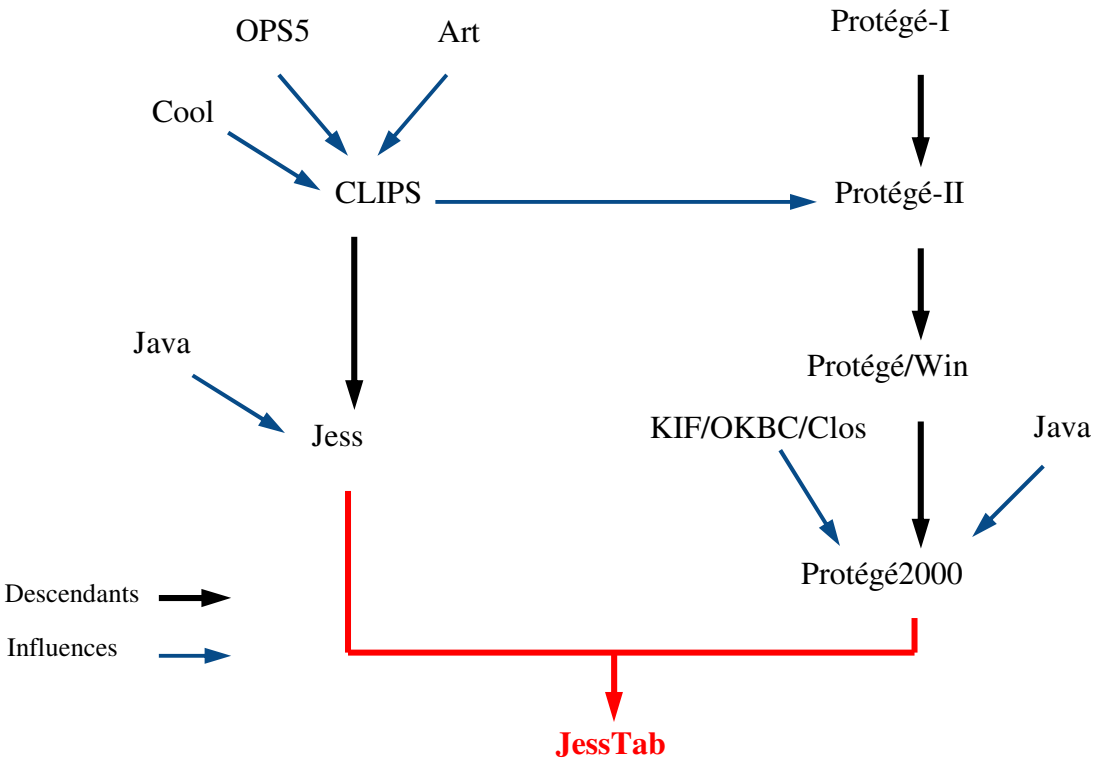


Figure 6.4 : Origines de JESS, Protégé et JessTab [JessT 03]

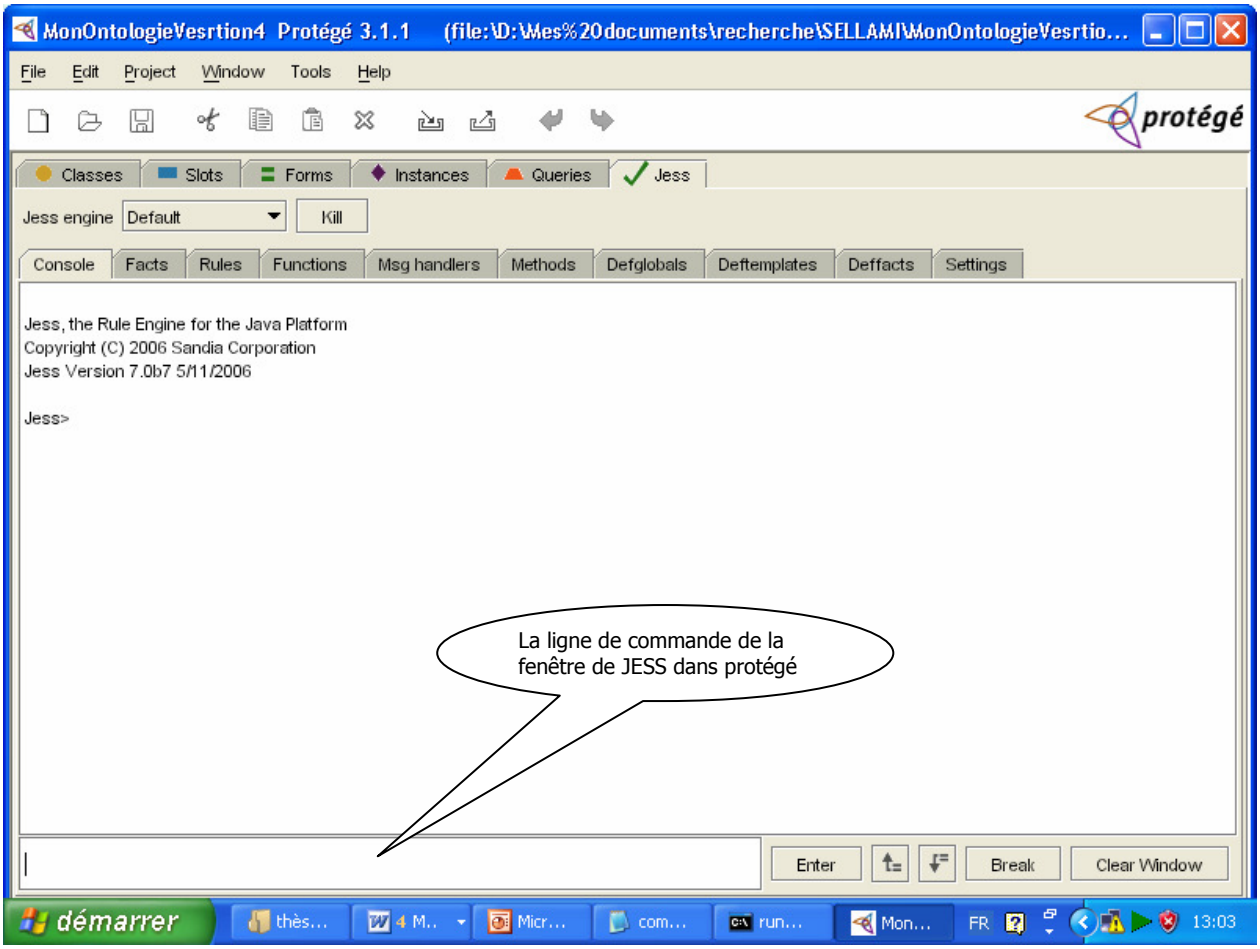


Figure 6.5 : fenêtre de JESS dans protégé

2- Réalisation

2.1- La définition du vocabulaire conceptuel dans JessTab

La définition du vocabulaire conceptuel doit précéder la spécification des axiomes du domaine. Pour spécifier une classe dans JessTab, il faut spécifier : le nom de la classe et tous ces propriétés (slots) et leurs propriétés (facettes).

Cette spécification peut être faite de deux façons :

1. définition de la classe (concept) graphiquement dans Protégé.
2. définition de la classe Protégé dans JESS. On écrit sur la ligne de commande de la fenêtre de JESS dans protégé la commande suivante :

Par exemples la spécification du concept paramètre est comme suit :

(**defclass** paramètre **(is-a :THING)**

(**slot** consigne-max (type string))

(**slot** consigne-min (type string))

(**slot** désignation-paramètre (type string))

(**slot** point arrêt complet (type string))

(**slot** Point-alarme (type string))

(**slot** unité de mesure (type string)))

(**slot** unité de mesure (type string))

Cette spécification défini une classe paramètre qui a comme super classe la racine « THING » de la hiérarchie.

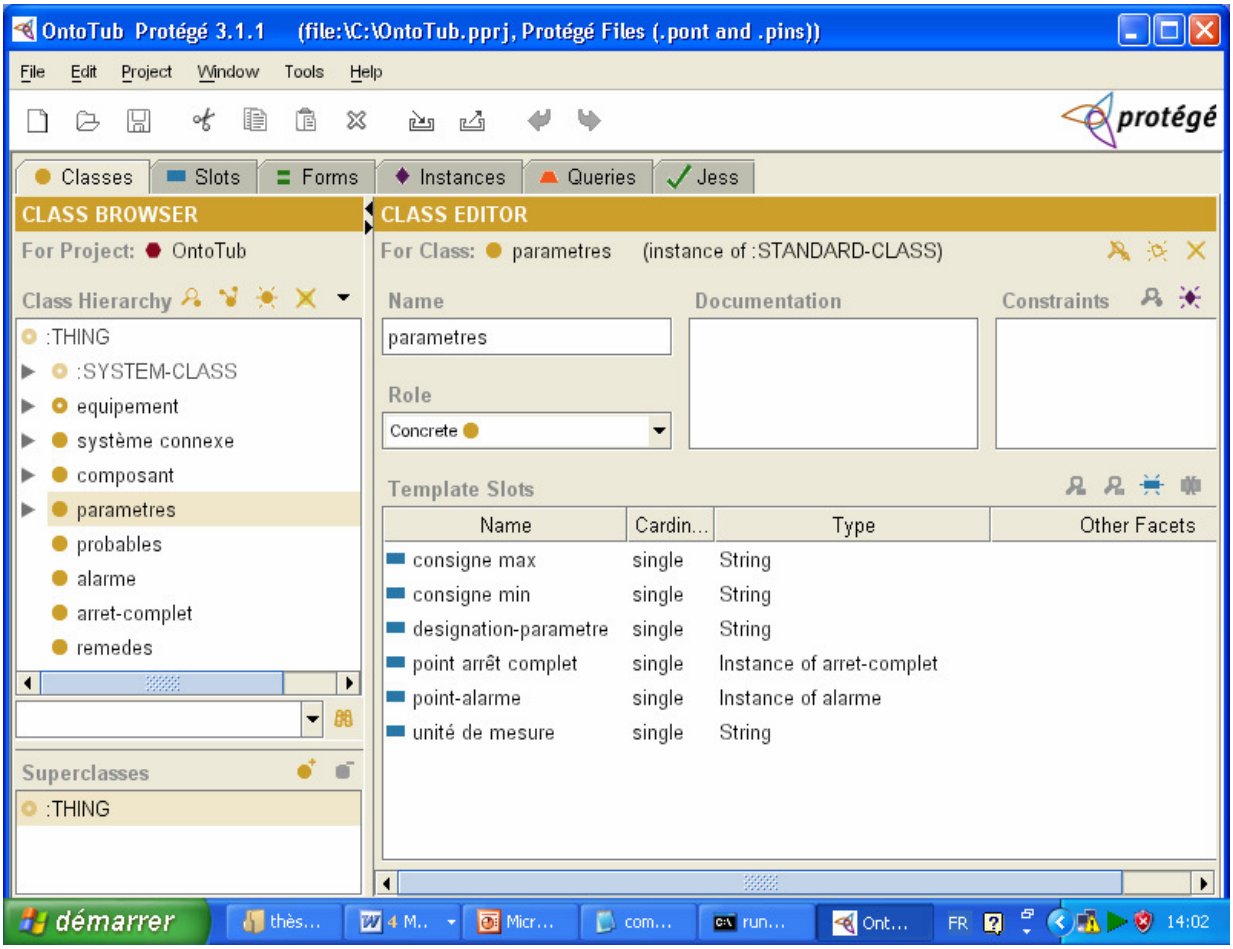


Figure 6.6 : définition de la classe paramètre

De même les instances des classes sont créées de deux façons :

1. créer les instances graphiquement dans Protégé.
2. utiliser la fonction (**make-instance**) dans la ligne de commande de la fenêtre de JESS dans protégé.

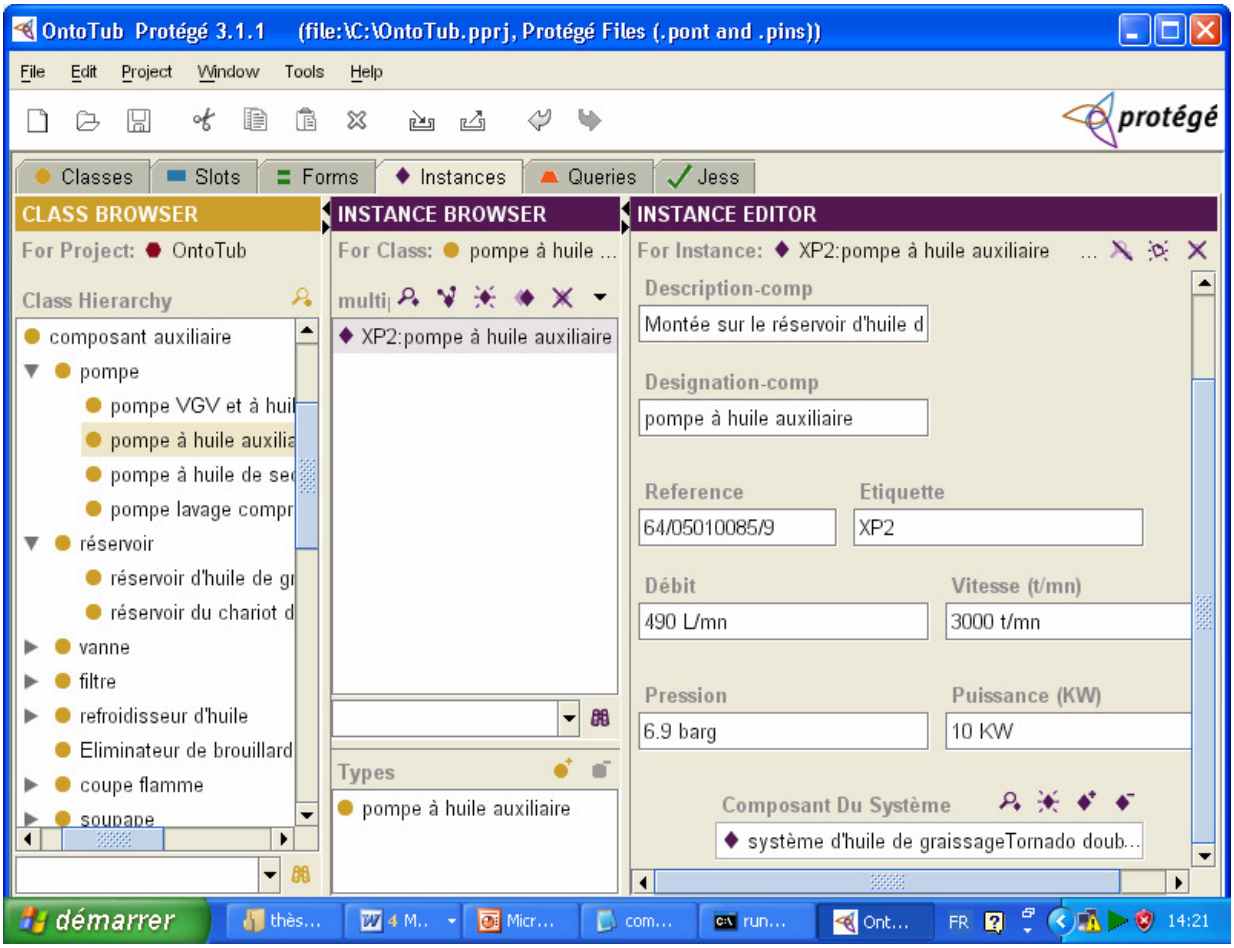


Figure 6.7 : une instance de la classe pompe à huile auxiliaire

2.2- construction de la base des faits

La construction de la base des faits s'effectue en transférant l'ontologie représentée dans protégé en une représentation JESS.

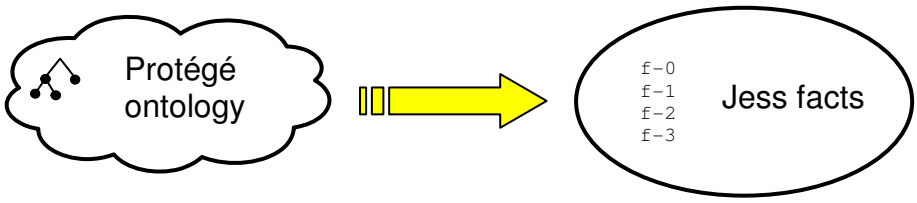


Figure 6.8: transfert Protégé représentation en JESS représentation [JessT 03]

Pour Transformer les instances d'une classe à des faits JESS, on utilise la commande (**mapclass**)

Exemple : (**mapclass** paramètre) transforme les instances de la classe paramètre à des faits JESS.

Pour transformer toutes les instances de la hiérarchie à la fois, on utilise toujours la fonction (**mapclass**) en specifiant comme classe la racine THING (**mapclass** :THING).

Cette même définition peut être faite, en tapons sur la ligne de commande de la fenêtre de JESS dans protégé la commande suivante : (**mapclass** parameter) puisque cette classe est déjà définit dans protégé.

L'ontologie OntoTurb était déjà définit dans protégé, il suffit alors de taper la commande «(**mapclasse** :THING) » pour transformer toutes les instances de la hiérarchie en faits JESS.

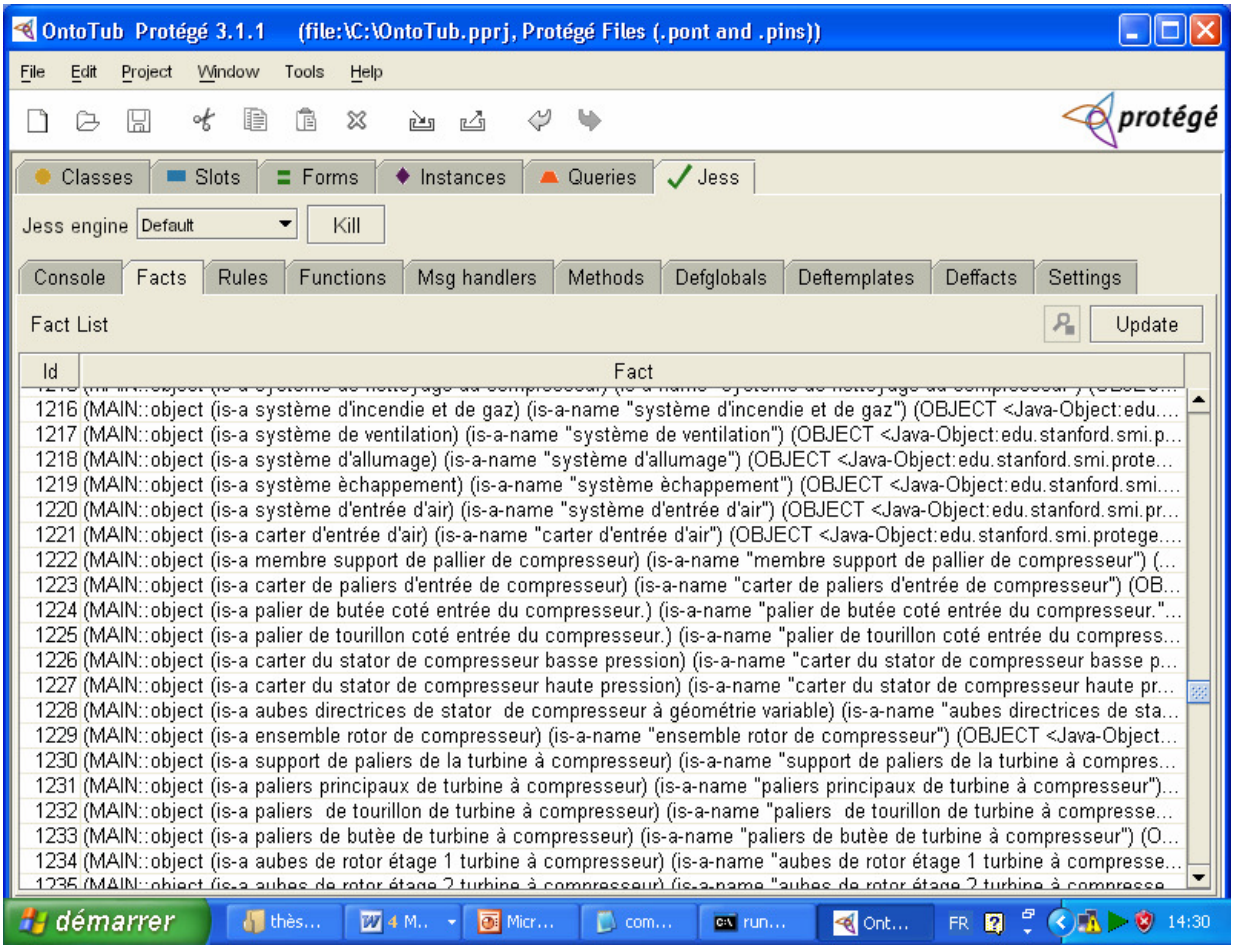


Figure 6.9 : la base des faits de « OntoTurb-expert »

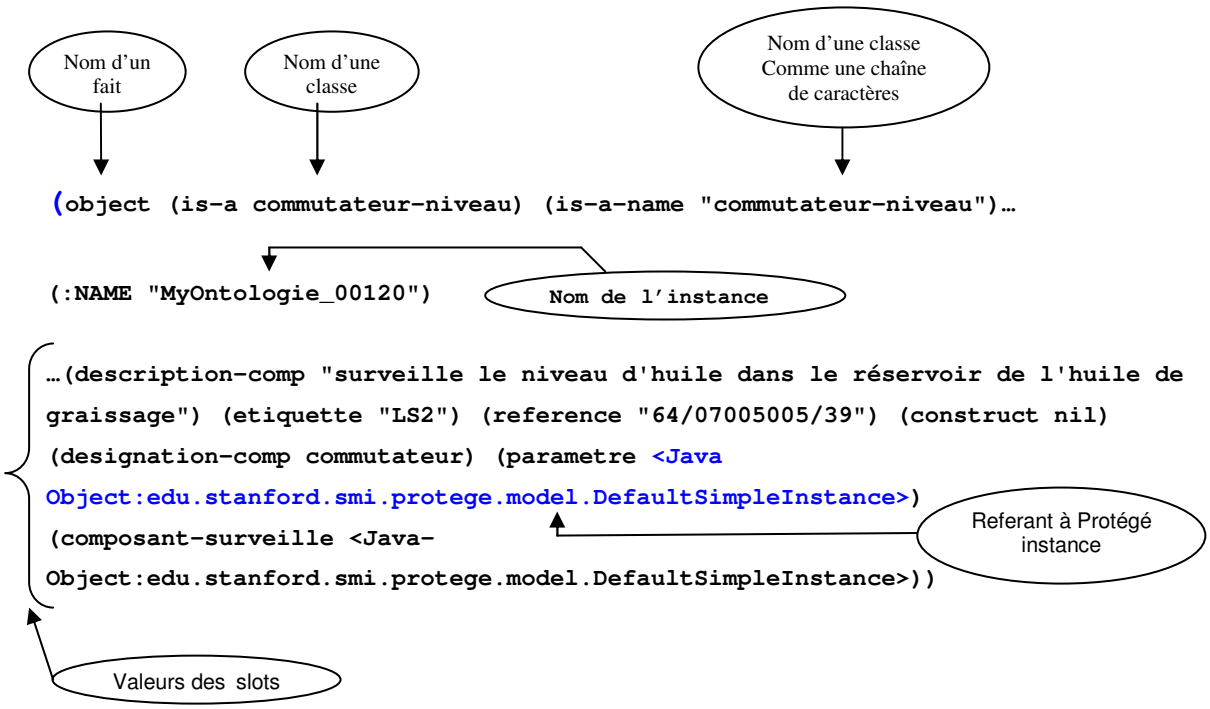


Figure 6.10 : Modèle des faits correspondant à des instances Protégé

2.3- La spécification des axiomes dans JessTab (régles)

La spécification des axiomes du domaine dans JessTab se traduit par des règles. Pour spécifier une règle dans JessTab, il faut spécifier : le nom de la règle, ces prémisses et ces conclusions. La définition d'une règle se fait grâce à la fonction « **defrule** ».

(**defrule** nom-de-la-régle ''commentaire''
premisse1
premisse2
…
premisseN
=>
action1
action2
…
actionP)

La règle se déclenchera si chaque prémisse peut être unifiée avec un fait, ou si une condition est vérifiée

Pour la traduction des axiomes Dans JessTab, la partie gauche dans un axiome représenté en logique représente les prémisses et la partie droite représente les conclusions. Certaines prémisses n'apparaissent pas dans les règles parce que leur validation se fait implicitement par le système.

Quelques exemples d'axiomes traduits en JessTab :

1. **l'axiome8 :** ∀ I, ∃ J, Instrument (I), Composant (J) => surveille (I, J).
   se traduit dans JessTab comme suit :

```
(defrule axiome8
        ( object (is-a commutateur-niveau) ( :NAME ?n))
        =>
        (bind ?e (slot-get ?n composant-surveillé))
)
```

2. **l'axiome9 :** ∀ I, ∃ P, Instrument (I), Paramètre (P) => contrôle (I, P).
   se traduit dans JessTab comme suit :

```
(defrule axiome9 (object(is-a commutateur-niveau)( :NAME ?n))
=>
(bind ?e (slot-get ?n parameter))
```

3. **l'axiome11 :** ∃ A, ∃ B, Alarme (A), Alarme (B) => produire-à-cause (A, B).
   se traduit dans JessTab comme suit :

```
(defrule axiome11 (object (is-a alarme)(causes $?c)
                  ( :NAME ?n)) =>

(foreach ?e (slot-get ?n causes)

 (printout t (slot-get ?e description) crlf))    )
```

4. **l'axiome13** ∀ C, cause-probables (C), ∃ R, remède (R) => possèder (C,R).
   se traduit dans JessTab comme suit :

```
(defrule axiome13 (object (is-a causes-probables)
   (:NAME ?m)) =>

  (foreach ?f (slot-get ?m  remèdes)

      printout t (slot-get ?f designation) crlf) )
```

2.4- Description de l'ontologie

Nous donnons, en Annexe C, une description de l'ontologie OntoTurb en HTML. L'ontologie peut également être éditée sous format HTML. Par exemple la classe thermocouple éditée en HTML se présente comme suit :

Class : thermocouple

Documentation :

Superclasses

- Instrument

Subclasses

- None

Types

- :STANDARD-CLASS

Instances (31)

Template Slots				
	Slot Name	**Documentation**	**Type**	**Cardinality**
	composant surveillé		composant de base., composant auxiliaire	0 :1
	construct		String	0 :1
	déscription		String	0 :1
	désignation composant		String	0 :1
	paramètre contrôlé		paramètres	0 :*
	réference		String	0 :1
	étiquette/numéro de repére		String	0 :1

Own Slots		
	Slot Name	**Value**
	:ROLE	Concrete
	:SLOT-CONSTRAINTS	

Instances

TC1, TC10 ,TC11, TC12 ,TC13 ,TC14 ,TC15 ,TC16 ,TC17 ,TC18 ,TC19 ,TC2 ,TC20, TC21 ,TC22 ,TC23 ,TC25 ,TC250, TC251 ,TC26 ,TC27 ,TC28 ,TC3 ,TC4 ,TC5 ,TC6 , TC61, TC7 ,TC75, TC8 ,TC9

2.5- Présentation de l'application

Les écrans suivants représentent la fenêtre JESS accessible via JessTab , permettant l'exploitation de l'ontologie développée avec protégé 2000 ; le système demande à l'utilisateur d'introduire l'instrument indiquant l'alarme, la réponse de l'utilisateur permet au système d'identifier l'alarme ensuite d'effectuer des inférences, grâce aux règle formalisée en JESS, pour déterminer les causes de cette alarme suivis des remèdes probables ou de quelques consignes qui permettent d'aider l'utilisateur dans ces taches de diagnostic/pronostic et de lui permettre ainsi de régler le problème.

Le raisonnement est guidé alors par les données (Chaînage avant) il consiste à :

- Détecter les règles dont les prémisses sont vérifiées (filtrage)
- Sélectionner la règle à appliquer : résolution des conflits (critères heuristiques / métarègles)
- Appliquer la règle
- Recommencer jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de règle applicable

Pour lancer l'application, il suffit de charger le fichier batch « OntoTurb.clp » créer dans un éditeur de texte en tapant la commande : **(batch « path :file-name.clp «)** sur la ligne de commande de la fenêtre de JESS dans protégé, ensuite pour l'exécution, il suffit de taper la commande : **(batch OntoTurb.clp).**

2.6- Exemples extraits de l'application

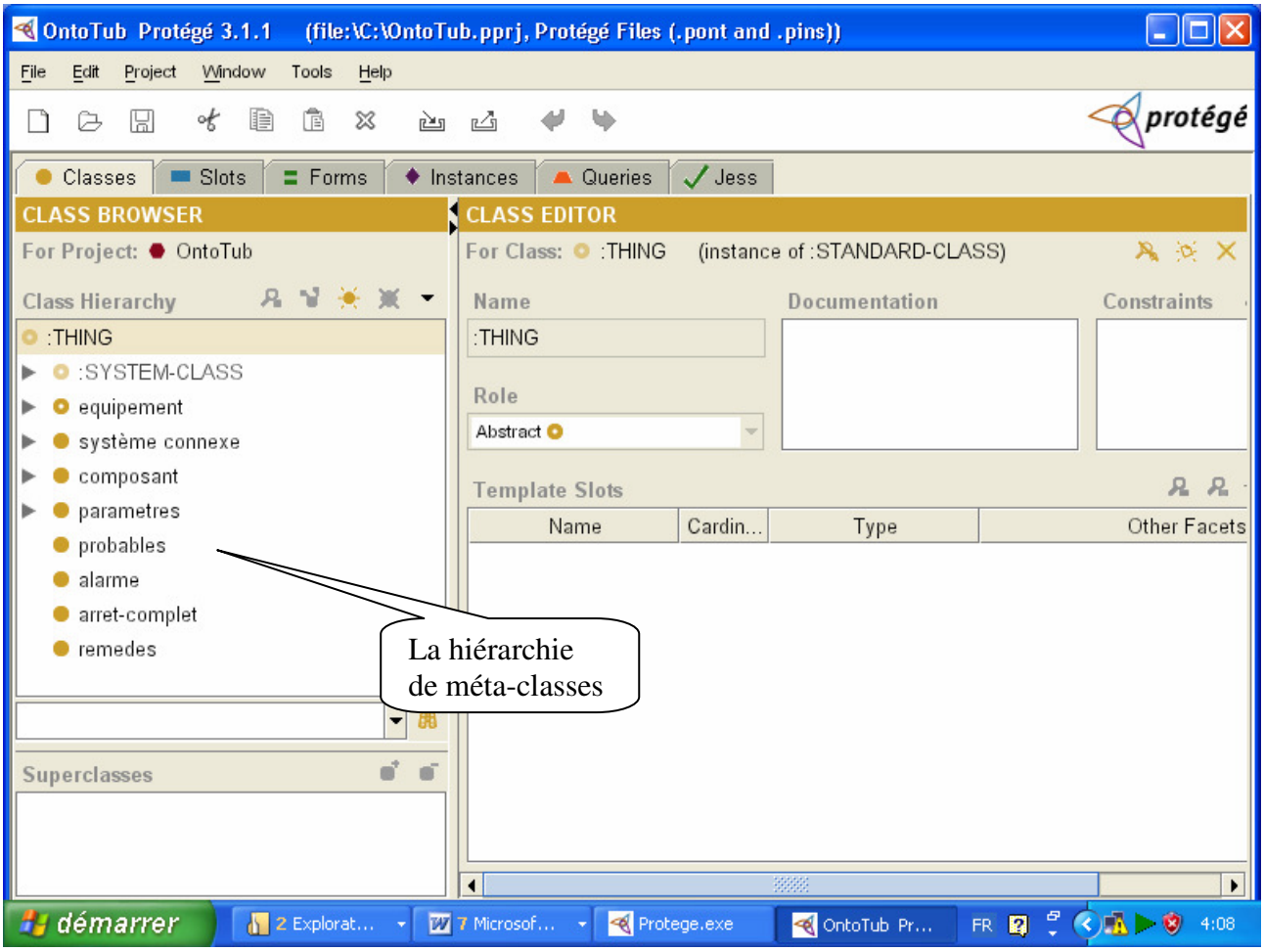


Figure 6.11: représentation de la hiérarchie de Meta classes dans « OntoTurb »

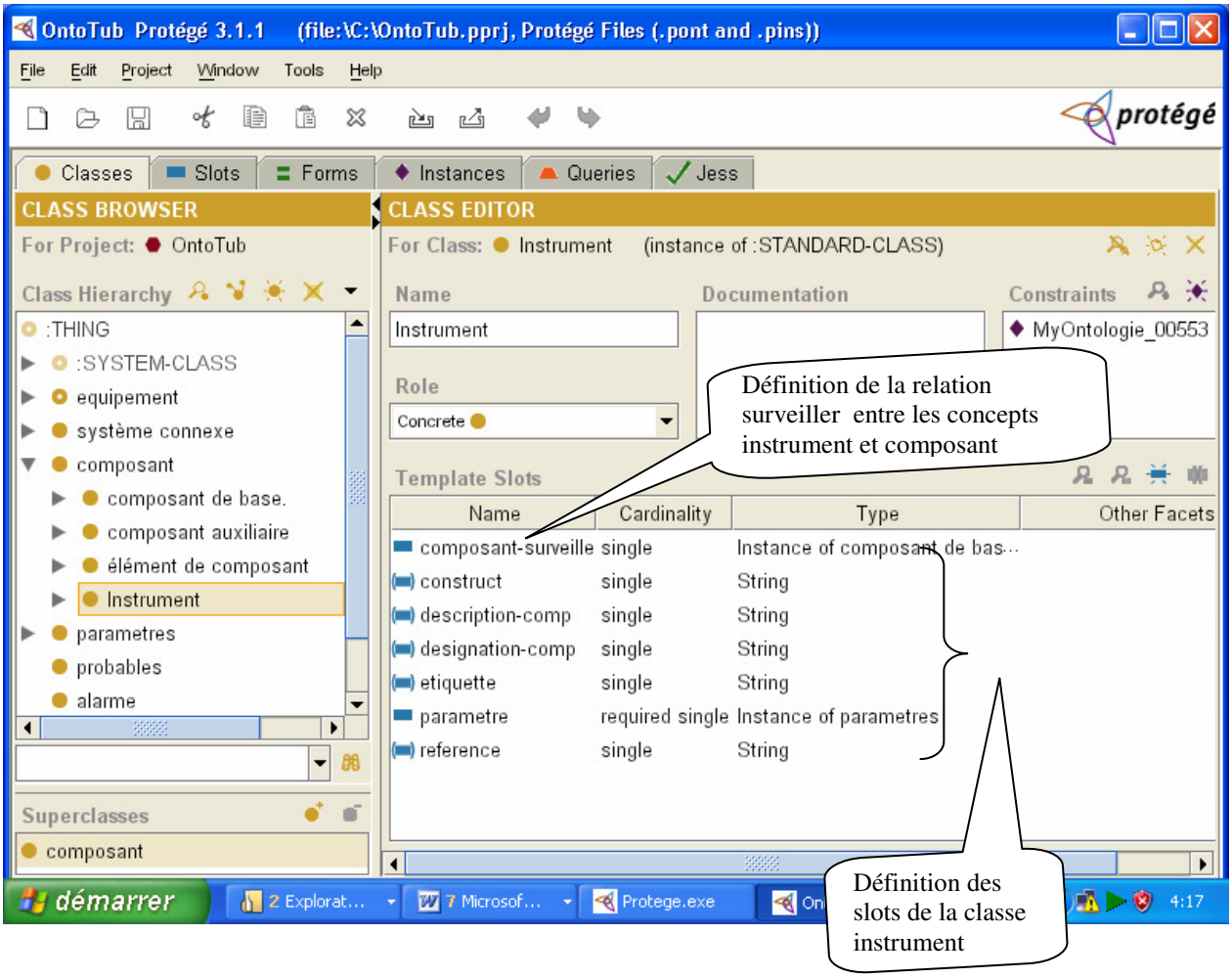


Figure 6.12 : définition des slots de la classe instrument

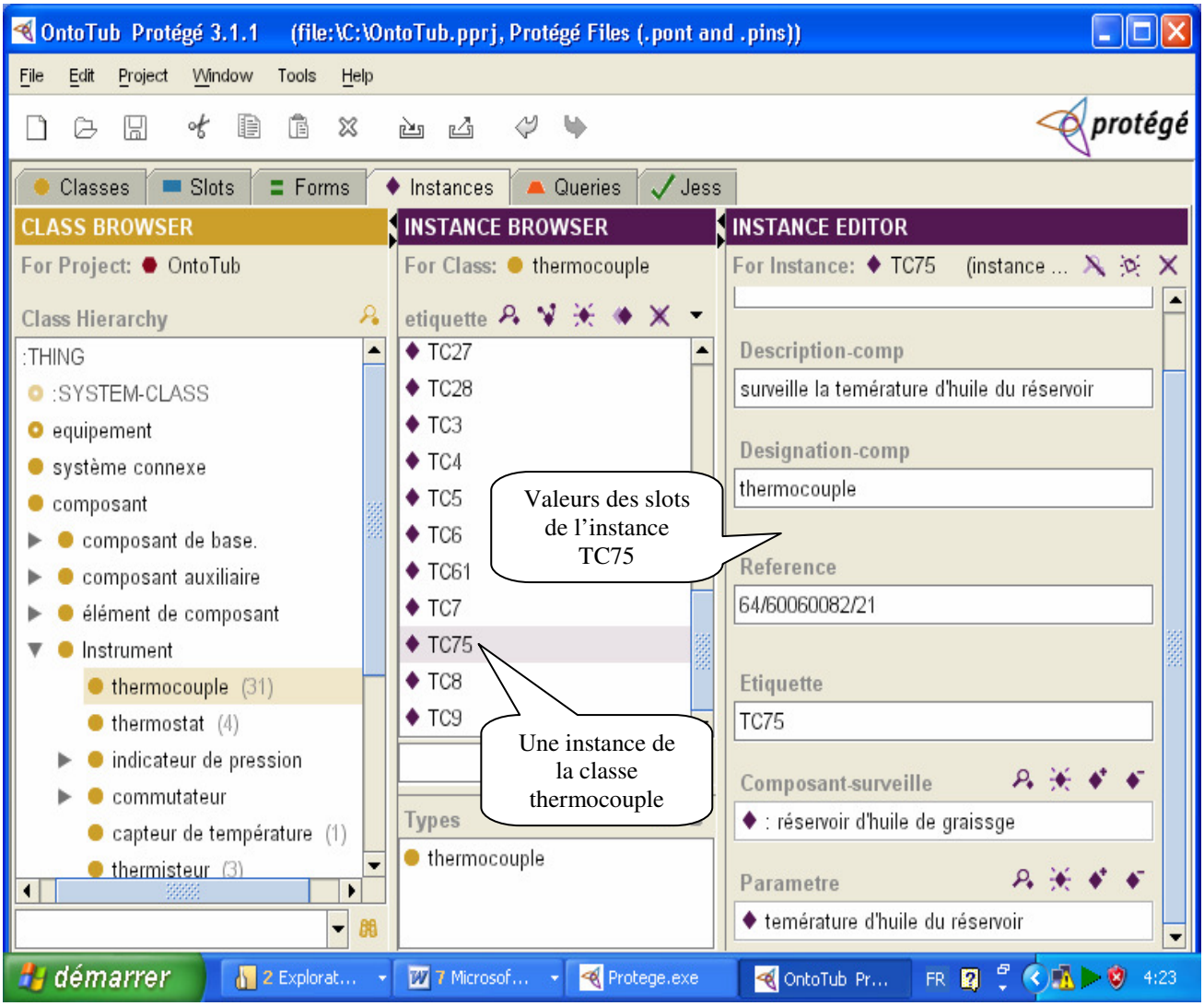


Figure 6.13: Les instances de la classe thermocouple dans « OntoTurb »

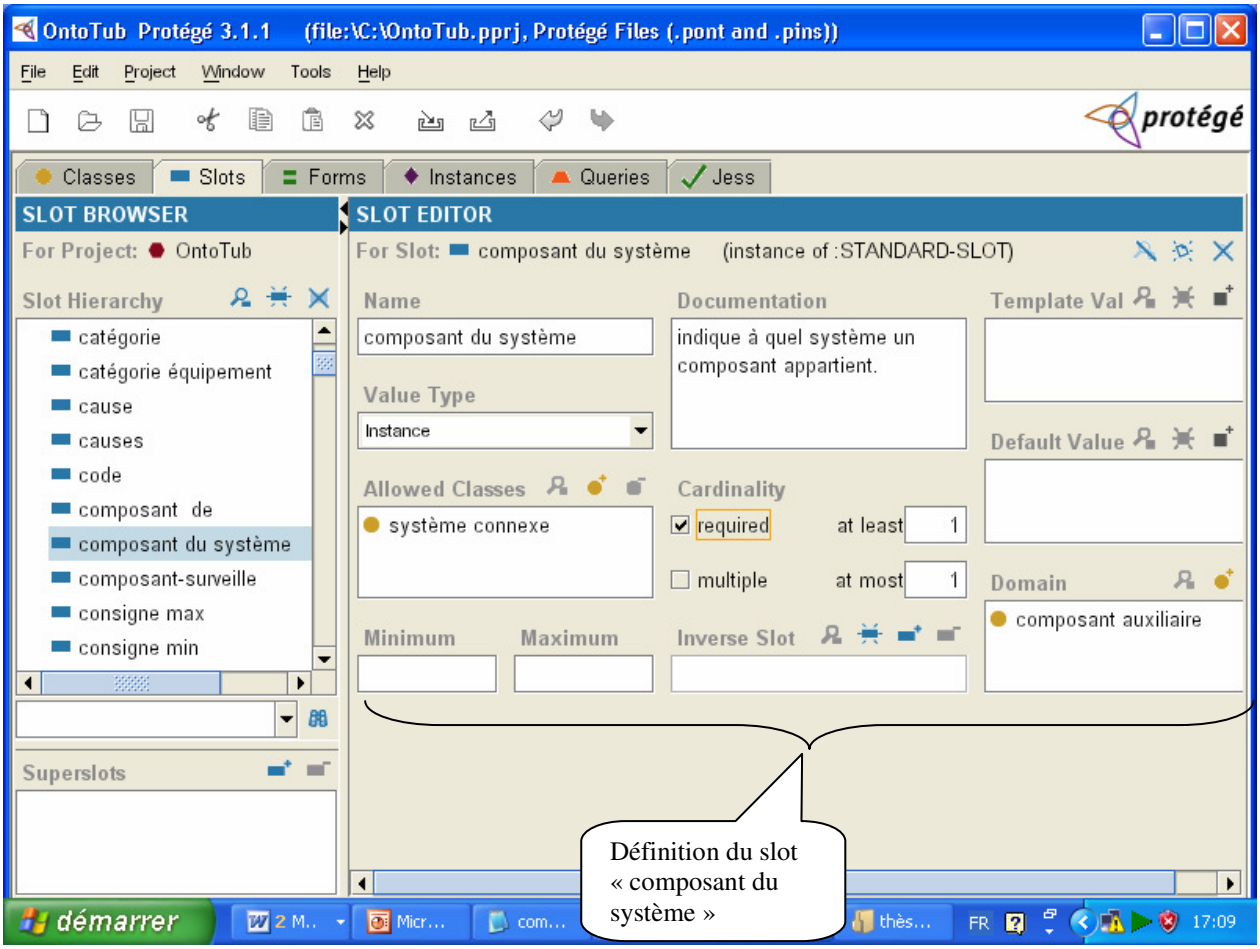


Figure 6.14: représentation des facettes du slot composant du système dans « OntoTurb »

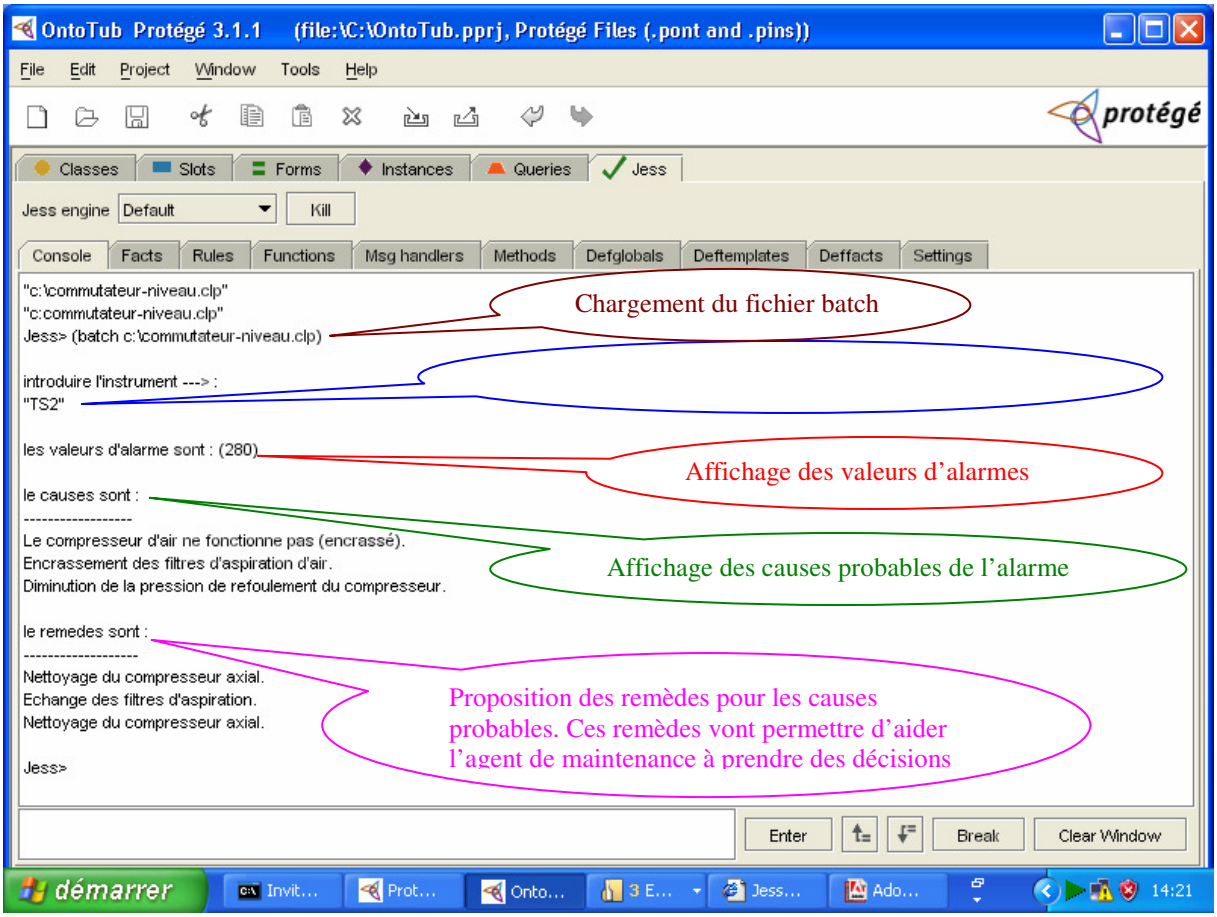


Figure 6.15 : Exemple de diagnostic concernant l'instrument commutateur de niveau TS2

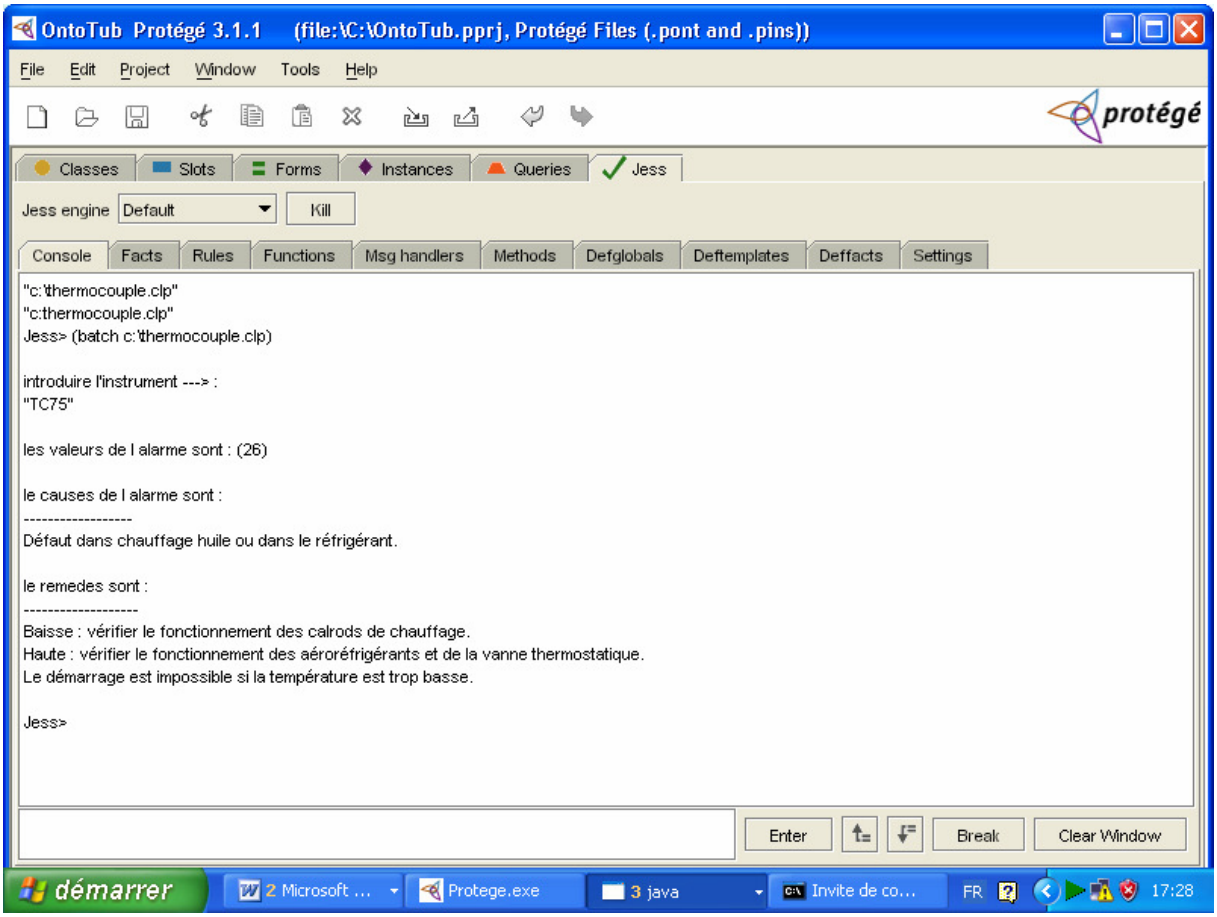


Figure 6.16: Exemple de diagnostic concernant le thermocouple TC75

3- Evaluation

3.1- Evaluation qualitative

Deux types d'évaluation sont considérés :

- évaluation par les utilisateurs (avec des critères basés sur la satisfaction des utilisateurs)
- évaluation stratégique par le manager (avec des critères basés sur le revenu sur l'investissement)

Parmi les critères d'une telle évaluation, la facilité de récupération des informations, l'adéquation des informations récupérées, confidentialité éventuelle des informations …etc.

D'un point de vue technique, le transfert du savoir-faire à l'intérieur de l'entreprise semble avoir un bénéfice évident, mais le transfert réel dépend d'une utilisation réelle des connaissances capitalisées au niveau de l'entreprise (changements des habitudes dans le travail individuel et collectif).

3.2- Evaluation quantitative

Évaluation par les experts de domaine en terme de couverture du domine considéré.

La validation de notre ontologie par les experts a montré que notre ontologie couvre tout le domaine considéré. Notre ontologie est extensible du point de vue modélisation et instanciation.

Les étapes de validation et d'évaluation sont itératives et doivent être poursuivies lors de l'emploi, du système développé, en situation concrète.

Conclusion & perspectives

Notre travail s'inscrivant dans le domaine de l'Ingénierie Ontologique, et se voulant essentiellement une contribution à la problématique de la gestion des connaissances dans le domaine de la maintenance des turbines à gaz industrielles. Nous proposons à travers cette thèse :

- une approche de construction d'une mémoire d'entreprise basée sur l'utilisation des ontologies dans les systèmes à base de connaissances.
- Une démarche d'acquisition de connaissances, en s'inspirant du modèle d'expertise KADS et de la Méthode MERISE utilisée dans l'analyse et le développement des systèmes d'information. Cette démarche nous a permis le recueil des connaissances auprès des experts.

- une méthodologie de construction d'ontologie basée sur un modèle sémantique. Cette méthodologie nous a permet la construction d'une ontologie générique « OntoTurb-Protégé2000 » pouvant être ainsi utilisée dans différents domaines.

- une méthodologie d'opérationnalisation d'ontologies basée sur la spécification de l'objectif opérationnel par scénario d'usage. Cette méthodologie nous a permet de plonger l'ontologie « OntoTurb-Protégé2000 » construite à l'étape précédente dans un système à base de connaissance pour aboutir enfin à un système d'aide au diagnostic « OntoTurb-Expert »

Comme perspectives, nous souhaitons que notre système sera élargi pour comprendre en plus de l'ontologie « OntoTurb-Protégé2000 » :

- Une ontologie documentation « OntoDocTurb » contenant des documents (XML, HTML, ...) représentant les structures, les images et le fonctionnement de tous les composants de la turbine,

- Une autre ontologie compétences « OntoCompTurb » regroupant tous les agents compétents de maintenance. Le rôle d'une telle ontologie est de savoir affecter une tache de maintenance à l'agent le plus approprié.

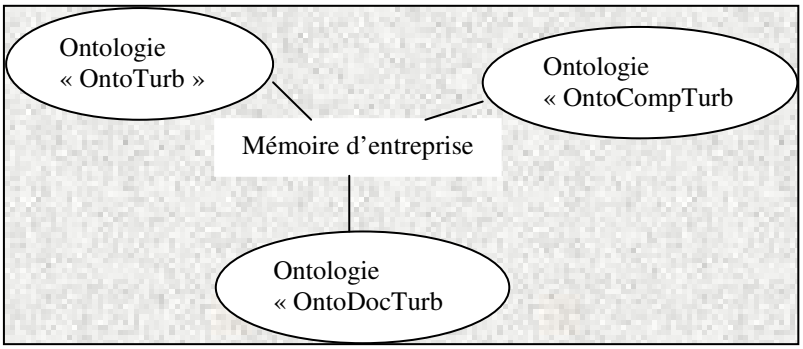


Figure 6.17 : Mémoire d'entreprise en perspective

Références bibliographie :

[ABB 95] Turbine à gaz Brown Boveri. N° de publication CH-T 113 694 F. 1995

[Af 99] Dossier paru dans le bulletin de l'AFIA n°36 en janvier 1999 , « Mémoire d'Entreprise »

[Afou 04] AFOUBA N. M., KERBRAT S., LABARANG Z.
"Le raisonnement à partir des cas : Définitions et principes de fonctionnement". Rapport du projet d'intelligence artificielle. ENAC 2004

[ALS 02] ALSTON Power. « Turbine à gaz Tornado, manuel d'utilisation ». 2002

[Ang 03] F. Anguel. « Vers un système de gestion des connaissances pour l'aide au diagnostic de panne dans un systéme industriel ». Thèse de Magister 2003. Université Badji Mokhtar aba.

[Asun 99] Asunción Gómez-Pére. «Développements récents en matière de conception, de maintenance et d'utilisation des ontologies », terminologie et intelligence artificielle (actes du colloque de Nantes, 10-11 mai 1999). P09-18.

[ATG 79] association technique de l'industrie du gaz en France. « maintenance des ouvrages de transport de gaz ». imprimerie Barnéoud S.A. 1979. 141pages.

[Bar 01] Barthelme TRAPP Françoise, VINCENT Béatrie « Analyse comparée de méthodes de Gestion des connaissances pour une approche managériale ». Xième Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique13-14-15 juin 2001
http://www.strategie-aims.com/quebec/web/actes/f-113-cd.pdf

[Bru 01] Bruno TIXIER, « La problématique de la gestion des connaissances : Le cas d'une entreprise de développement informatique bancaire », RAPPORT DE RECHERCHE de IRIN No 01.9, 49p. Université de Nantes, Septembre 2001.
http://www.sciences.univ-nantes.fr/irin/Vie/RR/

[Cat 07] Catherine Bandza, « méthodes de gestion des connaissances », rapport de recherche, 93p. 2007

[cet 06] « La Création d'Ontologies Web Sémantique avec Protégé-2000 ». http ://www.cetic.be/imprimer.php3?id_article=138. 2006

[Com 98] V. Combet. « La mémoire d'entreprise : un support privilégié de gestion des connaissances ». Mémoire de DESS en ingénierie multilingues. 1998. http ://www.sinequa.com/sq-lab-doc/combet-dess.pdf.

[Die 03] Rose Dieng-Kuntz. « ontologie et recherche d'information », Projet ACACIA, INRIA 2003. 57p

[Dieng 02] Rose Dieng-Kuntz et Sophia-Antipolis « Méthodes et modèles pour la mémoire d'entreprise ». Projet ACACIA INRIA, **http ://www.cindy.ensmp.fr/PEVS2/expose-cnrs-dieng.pdf. 2002.**

[Dieng 98] R. Dieng, O. Corby, A. Giboin, M. Ribière (1998), Methods and tools for corporate knowledge management Rapport de □echerché INRIA N°3485 septembre 1998.

[Fur 04] Frédéric Furst, « Contribution à l'ingénierie des ontologies : une méthode et un outil d'opérationnalisation » thèse de doctorat d'université 2004, Université de Nantes. P184

[Furst 02] F. FÜRST. « L'ingénierie ontologique ». Rapport de recherche 2002 38p. Institut de Recherche en Informatique de Nantes France. http://www.sciences.univ-nantes.fr/irin/Vie/RR/

[Furst 03] F.Furs. L'operationalisation des ontologies. http ://www.afia.polytechnique.fr/plateforme-2003/Articles/RJCIA/rjcia-03-Furst.ps

[GENP] General Electric Company. « Turbine à gaz Nuovo Pignone MS 9001»

[GOM 96] GOMEZ-PEREZ A., FERNANDEZ M. & DE VICENTE A. J., Towards a Method to Conceptualize Domain Ontologies, in Proceedings of the European Conference on Artificial

Intelligence, ECAI'96, pages 41-52, 1996.

[GRU 93] GRUBER T., A translation approach to portable ontology specifications, Knowledge Acquisition 5(2), pages 199-220, 1993.

[Hac 06] Hachani Abderrahmene, expert du domaine, expérience de 25 ans en révision générale des turbines. SONELGAZ.

[Ham 05] Maâmar El-Amine Hamri. « Spécification, Opérationnalisation et Simulation des Systèmes de Connaissances Réactifs : utilisation de CommonKADS et DEVS ».THESE de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE Paul CEZANNE Aix-Marseille III novembre 2005. p140.

[Hed 01] Hédi Kaffel, 2001.www.these.ulaval.ca/2001/19524.html

[Hen 04] Henrik Eriksson. «JessTab Manual, Integration of Protégé and Jess». Janvier 2004. http://www.ida.liu.se/~her/JessTab/JessTab.pdf

[IAP 69] Institut Algérien du pétrole. « Turbine à gaz ». Avril 1969.

[IC 02] IC'2002, « L'Ingénierie des connaissances », Rouen, du 28 au 30 mai 2002, 13ème journées francophones d'Ingénierie des connaissances. http://ic2002.insa-rouen.fr/accueil.html

[Ivan 03] IVANOV Alexei, VARNIER Christophe, ZERHOUNI Noureddine. «ORDONNANCEMENT DES ACTIVITÉS DE MAINTENANCE DANS UN CONTEXTE DISTRIBUÉ ». 4e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation "Organisation et Conduite d'Activités dans l'Industrie et les Services" MOSIM'03 – du 23 au 25 avril 2003 - Toulouse (France).

[Jean 04] S.JEAN."Langage d'exploitation de base de données ontologiques".Mémoire DEA 105p. Université de Poitiers France

[JESS 07] http://herzberg.ca.sandia.gov/jess

[JessT 03] Henrik Eriksson. "JessTab Tutorial". http://www.ida.liu.se/~her/JessTab/tutorial06/ .

[Kar 93] J.M. Karkin, G.Tjoen. Systèmes experts un nouvel outil pour l'aide à la décision. Edition 1993.

[Lal 07] F.Z. Laallam, M. Sellami. "Gas Turbine Ontology for the Industrial Processes". Journal of Computer Science 3 (2): 113-118, 2007.ISSN 1549-3636.

[Mart 97] Philippe MARTIN « La méthodologie d'acquisition des connaissances KADS et les explications » INRIA Rapport n°2179. p107. www.webkb.org/doc/papers/InriaReportFromDEA.pdf

[Masi 91] G. Masini, A. Napoli, D. Colnet, D. Léonard, K. Tombre. « Les langages à objets ». InterEditions, 1991, Paris.

[Mer 89] PHAM THU QUANG, CYRILLE CHARTIER. « Merise appliquée conception des systèmes d'information de la théorie à la pratique Méthode et outils ».1989

[MIND 03] M. Sellami. « Projet MIND : Rapport de synthèse phase- 2 & Etat d'avancement Décembre 2002

[Miz 98] Riichiro Mizoguchi, "A Step Towards Ontological Engineering". 12th National Conference on AI of JSAI, pp.24-31, June, 1998.

[Motta 00] Motta E., Buckingham-Shum, S. And Domingue, J. « Ontology-Driven Document Enrichment: Principles, Tools and Applications ». In International Journal of Human-Computer Studies, 2000, Vol. 52. p 1071-1109.

[Nat 101] Natalya F. Noy and Deborah L. McGuinness. "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology" Stanford University, Stanford, CA, 94305.

[Oulb 02] F.Oulebsir Boumghar, M.Bouziri, C.Sentouh. Bases de données en maintenance industrielle et accès distant. Maghrebian Conference on Computer Science, MCSEAI02,

May 6-8 2002, Annaba, Algeria. Page 413-422.

[Ph 06] Philippe BEAUNE, « De l'ingénierie à la gestion des connaissances », EMSE, 3 janvier 2006. www.emse.fr/~beaune/websem/cours2005_2006/WebSem1 IC.pdf

[Pip 06] www.mem-algeria.org/actu/comn/pubt/pipe_confer_TRC_Juin-06.pdf

[PME] L'ontologie : Onto-PME. Une ontologie dédiée à la gestion des connaissances d'une équipe de recherche. Equipe Ingénierie des Connaissances. LaRIA – UPJV.

[Prot 06] The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System, http://protege.stanford.edu

[Schr 98] SCHREIBER A. T., AKKERMANS J. M., ANJEWIERDEN A. A., DE HOOG R., VAN DE VELDE W., & WIELINGA, B. J.: Engineering of Knowledge: The CommonKADS Methodology, University of Amsterdam, 1998.

[Sel 06] M. Sellami. l'introduction aux systèmes experts. www.lri-annaba.net. 1996

[SGAZ 07] www.sonelgaz.dz

[Sol 04] J.J.Solari.'OWL Web Ontology Langage Use Cases and Requirements'. http://www.yoyodesign.org/doc/w3c/webont-req-20040210/

[SON 07] www.sonatrach-dz.com

[SULZER] Gas Turbine SULSER. Type 3/S3 and Type 7/S7. e/21.18.10-Cgi 30-Printed in Switzerland.

[Tal 03] A.Talbi, A. Hammouche, C. Tahon. « Méthode intégrée de planification des taches de production et de maintenance ». Revue Française de Gestion Industrielle Vol.22, N°3, P39-59.

[Val 03] Valéry Psyché, Olavo Mendes, Jacqueline Bourdeau. « Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance ». Article de recherche, Revue STICEF, Volume 10, 2003, ISSN : 1764-7223. http://sticef.org.

[wik 06] http://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion_des_connaissances. juillet 2006.

[wik 07] http://fr.wikipedia.org/wiki/Station_de_pompage_relais

[Yan 02] yannick P ENCOLE « Diagnostic des systèmes à événements discrets : application aux réseaux de télécommunications ». Thèse de doctorat d'université. Université de Rennes France. Juin 2002.

[Yoy 04] « Les cas et conditions d'utilisation du langage d'ontologie Web OWL » http://www.yoyodesign.org/doc/w3c/webont-req-20040210/

Annexe A

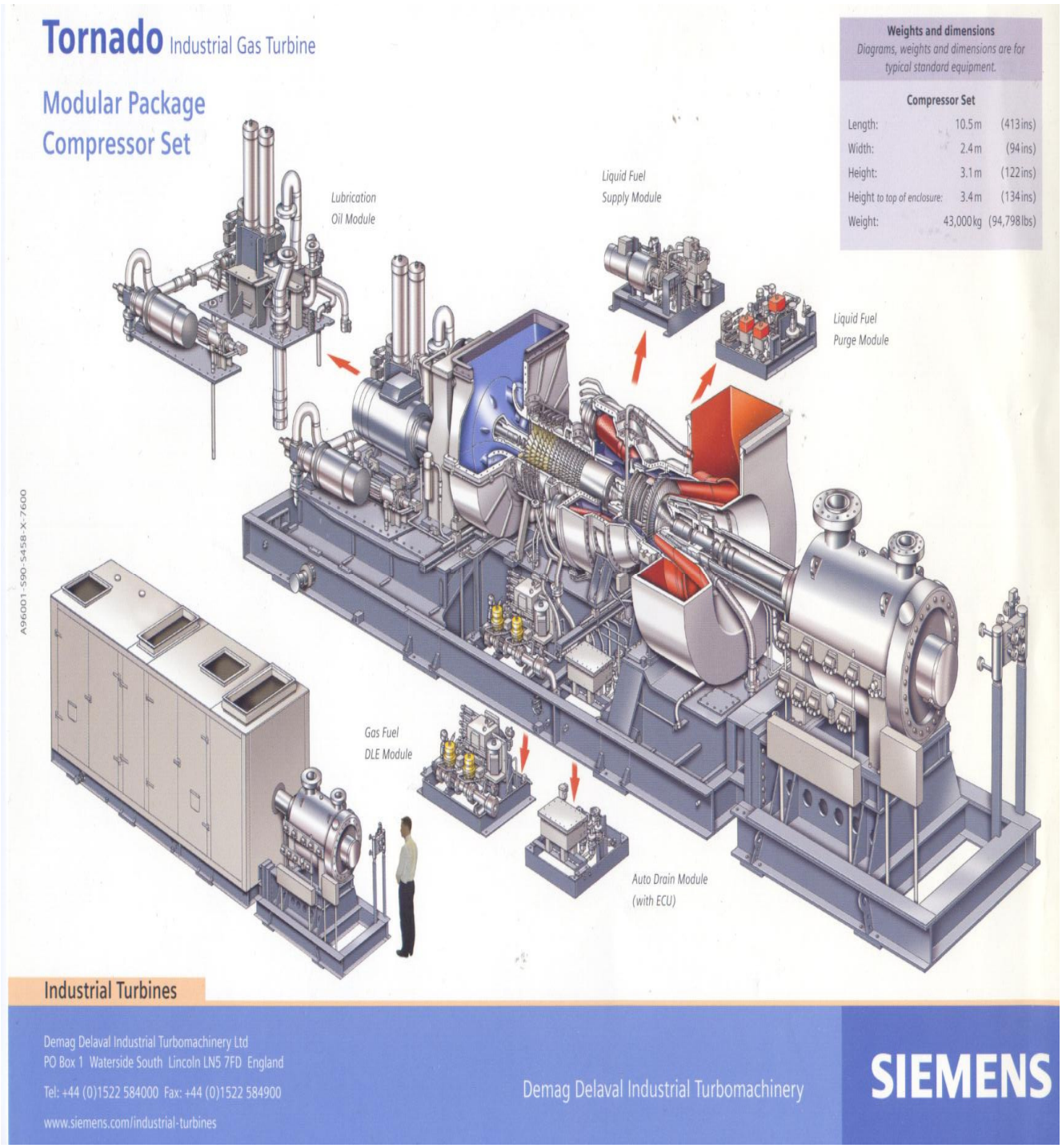


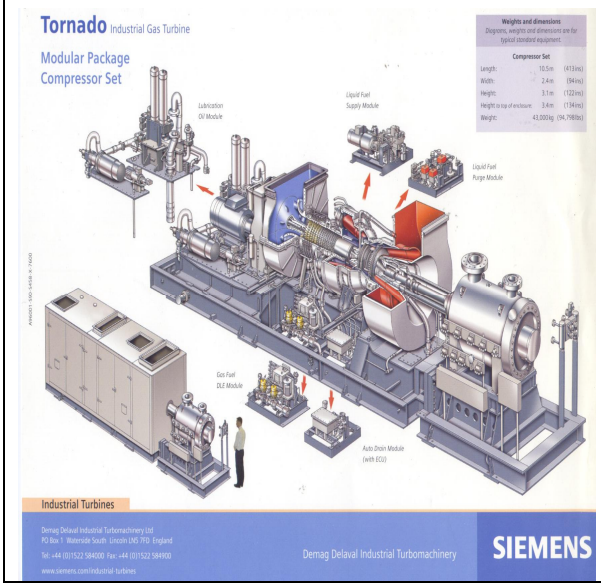
Figure : La TORNADO, une turbine à gaz industrielle

Annexe B

Pour la construction de notre ontologie, on a étudié, en particulier, la turbine « TORNADO Industrial Gaz Turbine » construit par SIEMENS et fourni par ALSTOM Power.

Description générale :

Carte d'identité



Nom	Turbine à gaz industrielle	
Type	TORNADO	
caractéristiques	arbre jumelé	
	Non régénératrice	
	A cycle simple ouvert	
	Conçue pour des applications à entraînement mécanique	
Fournisseur	ALSTOM Power	
Constructeur	SIEMENS	
Ensemble compresseur	Longueur	10.5 m
	Largeur	2.4 m
	Hauteur	3.1 m
	Hauteur jusqu'à la clôture	3.4 m
	Poids	43000 kg
	Type	Axial
	Nombre d'étages	15
Lieu d'utilisation	Station de …, SONATRACH	

La Tornado (arbre jumelé) est une turbine à gaz industrielle non régénératrice, conçue pour des applications à entraînement mécanique. Elle est constitué d'un carter d'entrée radial qui permet à l'air d'accéder au compresseur axial à quinze étages où il sera comprimé avant d'entrée dans le système de combustion. Ce système utilise des chambres de combustion pour mélanger, brûler et dilater le mélange air/combustible pour entraîner l'ensemble turbine à deux étages et être évacué par le diffuseur d'échappement.
L'ensemble intégré compresseur et turbine à compresseur, de même que le rotor de turbine de puissance équipé séparé, sont supportés et repérés par des paliers à tourillon et des paliers de butée dans le carter d'admission, le carter de la turbine de compresseur et le carter des paliers de la turbine de puissance, respectivement. Un enchaînement direct est prévu par la turbine de puissance en direction de l'unité menée.

I- Les composants de base :

13- **Carter d'entrée d'air** :

a. **carter externe** de forme rectangulaire généralement.

b. **Carter interne** circulaire intégrant le logement des paliers avant du rotor du générateur du gaz (ensemble compresseur et turbine à compresseur).

14- **Membre support de paliers :** le membre support de paliers se compose de deux parties, qui sont usinées, chevillées et fixées par boulons au niveau de leurs brides horizontales. Huit aubes supports disposées radialement joignent les faces avant et arrière. Les aubes supports sont positionnées de façon à opposer une résistance minimale à l'écoulement d'air.

15- **Logement de paliers d'entrée ou d'admission** : usiné pour recevoir le **paliers à tourillon** ainsi que le **paliers de butée** avant et arrière. La lubrification est assurée par des tuyaux connectés aux paliers de tourillon et de butée à travers des passages d'huile perforés, et on injecte de l'air dans les passages interne pour empêcher l'huile provenant du palier de pénétrer dans le **générateur de gaz**.

16- **Carter du stator du compresseur** : comporte un **carter basse pression** (du corps arrière du compresseur) et **un carter haute pression** (du corps avant du compresseur) dans lesquels se trouvent les pales (aubes) du stator.

Des aubes directrices à géométrie variable (aubes VGS) forment les cinq premières rangées de l'aubage du stator pour faciliter le démarrage et pour prévenir le pompage du compresseur. Un mécanisme d'actionnement monté à l'extérieur commande le mouvement des aubes.

17- **Logement de paliers de la turbine à compresseur** : support l'extrémité chaude de l'ensemble turbine. Le **rotor de turbine** est supporté dans des **paliers de tourillon** et de **paliers de butée inverse**.

18- Logement de paliers de la turbine de puissance : Logement de paliers de la turbine est supporté par l'ensemble support et diffuseur d'échappement. l**'arbre de rotor de sortie de la turbine de puissance** est supporté dans deux **paliers de tourillon et de paliers de butée inverse.**

19- **Ensemble de rotors du groupe turbine** : le rotor se compose de deux ensembles séparés : l'ensemble de turbine à compresseur et l'ensemble de turbine de puissance.

Le rotor de compresseur est de conception axial à 15 étages. Il est composé d'une série de disques portant des aubes. La turbine à compresseur est de conception axiale à deux étages. Elle est composée de deux disques de rotor portant des aubes. La turbine de puissance est de conception axial à deux étages, composée de deux disques de rotor portant des aubes.

20- **système de combustion** : comprend huit tubes de flamme positionnés symétriquement et situés dans un carter de pression cylindrique. Le système est à écoulement inversé c'est-à-dire qu'à la sortie de la tuyauterie du compresseur, l'air est inversé et entré dans la tête des tubes de flamme par l'intermédiaire d'une tôle à turbulence qui brasse (mêler en remuant) rapidement le flux pour mélanger parfaitement le combustible et l'air.

21- **carter de pression de la turbine** (**support de diffuseur d'échappement**) : le carter de pression de la turbine est relié par des accouplements à brides au logement de paliers de la turbine ; il positionne l'ensemble stator de la turbine et sert de support au diffuseur d'échappement.

22- **diffuseur d'échappement :** diffuseur d'échappement monté à partir du carter de pression de la turbine, assure la diffusion des gaz pour le système de canalisation.

23- **boite de vitesse auxiliaire** : elle est entraînée par l'arbre de compresseur. Elle contient les entraînements nécessaires pour le moteur du démarreur de la turbine et son embrayage associés : la pompe à huile du mécanisme d'aubes variables de stator et la pompe à huile de lubrification principale.

24- **Système d'air de refroidissement et d'étanchéité** : l'air du compresseur assure l'étanchéité au niveau des joints à labyrinthe et le refroidissement des composants à haute température.

a. L'air à pression moyenne prélevé dans la bande de purge au huitième étage du compresseur sert a :

- pressuriser (maintenir une pression normale) le joint à labyrinthe d'admission du compresseur
- pressuriser les joints à labyrinthes situés de chaque côté du palier a tourillon de la turbine de compresseur pour empêcher l'air haute pression sortant du compresseur de pénétrer dans le logement de paliers.

b. L'air de purge du onzième étage sert à :

- refroidir les disques de rotor de la turbine de puissance et assurer l'étanchéité des paliers de la turbine de puissance

c. l'air de purge haute pression du quinzième étage prélevé en amont de l'aube directrice de sortie de compresseur sert à :

- refroidir les disques de rotor de la turbine de compresseur.

d. l'air de sortie de compresseur sert à :

- équilibrer l'air moyenne pression utilisée pour la pressurisation des joints labyrinthes au niveau du palier de tourillon du compresseur.
- Refroidir l'ensemble de tuyères haute pression par des trous pratiqués dans les bagues supports intérieurs et extérieurs des tuyères, pour pénétrer dans le tube de refroidissement de chaque tuyère, avant refoulement dans le courant de gaz à travers des trous de bord de fuite.
- Refroidir la face latérale d'entrée du stator et du rotor de la turbine de compresseur au premier étage.

L'air moyenne pression utilisé est évacué à l'atmosphère à travers le système reniflard (appareil qui sert à évacuer) secondaire. L'air haute pression de sortie de compresseur est évacué dans le système d'échappement par le système reniflard primaire.

Instrumentation :

Les instruments sont prévus pour contrôler les paramètres de la turbine et assurent des fonctions de commande d'avertissement et de déclenchement.

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	Points de consigne
Thermocouple	TC19, TC20	Carter d'entrée d'air			-100 à 1100 C°
	TC17, TC18	Sortie du compresseur			-100 à 1100 C°
	TC1 à TC16	Carter de tuyauterie intermédiaire		Sortie de flemme de l'une des chambres de combustion	-100 à 1100 C°
	TC21, TC22	thermocouple générateur de gaz, palier de	120 C°	150C°	

		butée coté entrée du compresseur.			
	TC23	thermocouple générateur de gaz, palier de tourillon coté entrée.	120 C°	150C°	
	TC25	thermocouple turbine de puissance, palier de tourillon coté entrée.	120 C°	150C°	
	TC26, TC27	thermocouple turbine de puissance, palier de butée coté sortie.	120 C°	150C°	
	TC28	thermocouple turbine de puissance, palier de tourillon coté sortie.	120 C°	150C°	
	TC250, TC251	thermocouple générateur de gaz, palier de tourillon coté sortie.	125 C°	135C°	
Sonde de vitesse	SD1	générateur de gaz (boite de vitesse auxiliaire)	/	/	Seul analyse
	SD2, SD3	turbine de puissance	/	/	Seul analyse
Sonde de vibration radiale	UD10X1	sonde radiale direction X, générateur de gaz palier coté entrée.	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD10X2	sonde redondante radiale direction X, générateur de gaz palier coté entrée	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD10Y1	sonde radiale direction Y,	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	

		générateur de gaz palier coté entrée			
	UD10Y2	redondante sonde radiale direction Y, générateur de gaz palier coté entrée	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD11X1	sonde radiale direction X, générateur de gaz palier coté sortie.	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD11X2	redondante sonde radiale direction X, générateur de gaz palier coté sortie.	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD11Y1	sonde radiale direction Y, générateur de gaz palier coté sortie	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD11Y2	redondante sonde radiale direction Y, générateur de gaz palier coté sortie	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD12X1	sonde radiale direction X, turbine de puissance palier coté entée	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD12X2	redondante sonde radiale direction X, turbine de puissance palier coté entée	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD12Y1	redondante sonde radiale direction Y, turbine de	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	

		puissance palier coté entée			
	UD12Y2	redondante sonde radiale direction Y, turbine de puissance palier coté entée	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD13X1	sonde radiale direction X, turbine de puissance palier coté sortie	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD13X2	redondante sonde radiale direction X, turbine de puissance palier coté sortie	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD13Y1	sonde radiale direction Y, turbine de puissance palier coté sortie	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
	UD13Y2	redondante sonde radiale direction Y, turbine de puissance palier coté sortie	66 uM (pk – pk)	89 uM (pk – pk)	
Sonde de vibration axiale	ZD10T1	sonde axiale simple. coté entrée générateur de gaz.	250 uM	350 uM	
			-250 uM	-350 uM	
	ZD10T2	redondante sonde axiale simple. coté entrée générateur de gaz	250 uM	350 uM	
			-250 uM	-350 uM	
	ZD13T1	sonde axiale simple, coté sortie palier de butée, turbine de puissance.	250 uM	350 uM	
			-250 uM	-350 uM	

	ZD13T2	monté coté sortie paliers de butée de la turbine de puissance	250 uM	350 uM	
			-250 uM	-350 uM	

II- Système d'huile de graissage :

Le système d'huile de lubrification à base d'huile minérale est conçu pour injecter de l'huile afin d'utiliser les aubes du stator à géométrie variable ainsi que les aubes directrices d'admission tout en lubrifiant et refroidissant les éléments suivants :

- les paliers de butée et de tourillon de la turbine.
- Les paliers et les dents d'engrenage (disposition de roues dentées se commandant les unes les autres) de la boite d'engrenage
- Les paliers de l'unité menée (si le cas se présente)

Description générale :

L'huile est livrée à partir d'un réservoir d'huile sur embase et elle circule à travers tout le système dans les conditions normales sous l'influence de la pompe d'huile de graissage principale. Le système inclut une **soupape de contrôle de température,** des **soupapes de contrôle de pression,** le **filtre,** les **instruments** et la tuyauterie associée permettant d'assurer des conditions d'alimentation correcte.

L'huile usagée retourne au réservoir par drainage gravitationnel et permet de boucler un système de circulation continue.

La chaleur est extraite de l'huile par un circuit refroidisseur d'huile qui est contrôlé par une **soupape de contrôle de température.**

La position des **aubes VGS** et des **aubes directrices d'admission** est contrôlée par un **actionneur hydraulique** commandé par **électrovanne.**

Un système de reniflard est prévu sur **le réservoir d'huile de graissage** pour l'évacuation en atmosphère des brouillards d'huile qui sont engendrés par le fonctionnement normal de la turbine.

1. **Le réservoir d'huile de graissage** : le réservoir est équipé d'un ou de plusieurs thermoplongeurs pour maintenir la bonne température d'huile de démarrage. une ou plusieurs jauges de niveau permettent une indication visuelle du niveau d'huile dans le réservoir.
2. **pompes d'huile de graissage :**
   - **la pompe principale** qui est montée sur la **boite d'engrenage** et est menée par la boite d'engrenage, assure le graissage pendant le fonctionnement normal.
   - **La pompe auxiliaire** qui est montée sur le **réservoir d'huile de graissage** et est menée par un moteur électrique CA, assure le graissage pendant le démarrage, l'accélération et après l'arrêt de la turbine.
   - **La pompe de secours** qui est montée sur le **réservoir d'huile de graissage** et menée par un moteur électrique CC et qui assure le graissage essentiel des **paliers chauds de la turbine** en cas de défaillance de la pompe auxiliaire ou de panne d'alimentation pendant et après un arrêt.

   La circulation entre les trois pompes est contrôlée par des soupapes de non-retour. Chaque pompe est équipée d'une soupape de surpression pour la protéger de la surpression.
3. **soupape de contrôle de la température :** elle sert à diverger l'huile de graissage à travers le refroidisseur d'huile pour maintenir la température d'huile au niveau optimum.

Une vanne d'arrêt de purge à verrouillage manuel est placée entre la vanne de régulation de température et le refroidisseur. La vanne ne s'ouvre que pendant la mise en service ou bien après une activité de maintenance pour faciliter la purge ou le démarrage du refroidisseur d'huile. A tous les autres moments, la vanne doit rester verrouillée en position fermée.

4. **soupape de contrôle de pression** : la pression d'huile arrivant aux paliers pendant le fonctionnement de la turbine est maintenue à une pression constante par une ou plusieurs vannes de régulation de pression. L'excès d'huile est renvoyé au réservoir d'huile de lubrification par la ou les vannes.
5. **filtres d'huile de graissage :** deux filtres sont prévus
   - **le filtre principal** qui est installé en aval de la **soupape de contrôle de pression**, filtre le flux de conduite de graissage des **pompes principale** et **auxiliaire.**
   - **Filtre auxiliaire** : filtre le flux d'une autre conduite d'huile (séparée de la conduite principale) en provenance de la **pompe d'urgence**.
6. **pompe hydraulique** : une pompe hydraulique, un **détendeur** et une **vanne de régulation de position** font partie de l'ensemble **pompe à huile de lubrification principale**. La pression hydraulique sert à commander **l'actionneur VGS** à la demande d'une **électrovanne** pour réguler la position des **aubes directrices d'admission** ainsi que les premiers, deuxième et troisième étages des aubes de stator de compresseur.
7. **vannes hydrauliques régulatrices de pression** et **détendeurs** : la vanne hydraulique régulatrice de pression maintiens la pression du système hydraulique et le détendeur protége la pompe en cas de défaillance d'une vanne régulatrice. L'excès d'huile sous pression est renvoyé au réservoir d'huile de lubrification.
8. **filtre à huile hydraulique** : installé en aval de la **pompe hydraulique** filtre l'huile dans le circuit d'arriver de **l'actionneur hydraulique**.
9. **circuit refroidisseur d'huile** : il est utilisé pour dissiper la chaleur de l'huile de lubrification avant son entrée dans la conduite d'alimentation principale. Le flux en direction du circuit refroidisseur est régulé par une **vanne de régulation thermostatique.** Des **vannes de non-retour** sont installées dans les conduites d'arrivée et de retour pour éviter le drainage de l'huile de lubrification dans le réservoir quand la turbine est à l'arrêt.
10. **éliminateur de brouillard d'huile :** un éliminateur de brouillard d'huile est prévu dans le système reniflard du **réservoir d'huile de lubrification** pour réduire la quantité de brouillard d'huile rejetée dans l'atmosphère.
11. **coupe-flamme du système d'aération du réservoir d'huile** : le système d'aération est équipé d'un **coupe-**flamme qui empêcher toute inflammation de brouillard d'huile qui pourrait donner lieu à une explosion dans le réservoir d'huile de graissage.
12. **coupe-flamme du système d'aération secondaire** : une coupe-flamme est dans le système d'aération secondaire pour empêcher toute inflammation de brouillard d'huile qui pourrait donner lieu à une explosion dans les passages d'aération.

Instrumentation :

Les instruments sont prévus pour contrôler les paramètres du système de l'huile de graissage et assurent des fonctions de commande d'avertissement et de déclenchement.

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	Points de consigne

Thermocouple	TC75	réservoir d'huile de graissage			26°C
	TC61	Le bloc collecteur			63°C en hausse
Thermostat	TS2	Le bloc collecteur			70°C en hausse
Capteur de pression	PT6	Monté dans le circuit d'arrivée du palier chaud (palier n°2), il surveille la pompe à huile d'urgence.	1.7 barg en baisse	1.4 barg	
Manocontact (pressostat)	PS4	Circuit d'arrivée du palier chaud (palier n°2)		Faible pression d'huile	1.38 barg en baisse
Capteur de pression différentielle	PDT8	Filtre principal d'huile de lubrification			
Potentiomètre (surveillance de position)	ZT9	Lames des aubes VGS et des aubes de direction d'admission			
Commutateur de niveau	LS2	réservoir d'huile de graissage	Si le niveau d'huile est inférieur à 240 mm pendant le fonctionnement normal de la turbine	Si le niveau d'huile est inférieur à 340 mm pendant le démarrage	

III- Système de carburant :

Le système de carburant comprend un système de carburant à gaz conçu pour assurer l'alimentation en carburant de système de combustion à la pression correcte et au débit requis.

Les composants du système :

1. **Soupape de ventilation hors embase** et la **soupape de blocage hors embase**: situées sur la conduite d'alimentation en gaz. la **soupape de ventilation** s'ouvre pour assurer la ventilation de la tuyauterie d'interconnexion et la **soupape de blocage** se ferme pour empêcher la pénétration du gaz dans le système de carburant hors embase, lorsque la situation le requiert. L'air est dirigé vers les actionneurs par des électrovannes.
2. **Dispositif antibuée** : le dispositif antibuée hors embase est utilisé pour éliminer les liquides du gaz carburant. Le gaz entre dans le dispositif antibuée par le tuyau d'admission et il passe à travers un élément de filtre spécial dans la chambre supérieur et il sort du dispositif antibuée propre et sec par la conduite d'échappement.

3. **Soupape de blocage primaire et soupape de blocage secondaire sur embase:** elles assurent l'isolation du système de carburant sur embase de la source d'alimentation du gaz. L'alimentation en air des instruments vers l'actionneur est contrôlée par des solénoïdes (électrovannes).
4. **Soupape de ventilation sur embase:** assure la ventilation de la tuyauterie de gaz combustible entre les deux soupapes de blocage en cas d'arrêt complet de la turbine. L'alimentation en air des instruments vers l'actionneur est contrôlée par des solénoïdes (électrovannes).
5. Ensemble **actionneur/soupape de contrôle (régulation) du gaz combustible (**soupape de commande de combustible commandée par actionneur, soupape de démarrage (expert))**:** l'ensemble est connecté au système combustible. La soupape est calibrée et configurée pour doser le début de combustible vers les brûleurs sous le contrôle d'une unité de commande électrique. Un capteur de position intégré surveille la position de l'actionneur de la soupape de régulation.

Soupape de démarrage (expert) : cet soupape fonctionne au démarrage pour alimenter la chambre de combustion petit à petit. Une fois la turbine démarre, une autre soupape prend la main.

6. **Brûleurs de carburant** : les brûleurs introduisent la proportion correcte de carburant correspondant au processus de combustion pendant le fonctionnement de la turbine.

Instrumentation :

Les instruments sont prévus pour contrôler les paramètres du système de l'huile de graissage et assurent des fonctions de commande d'avertissement et de déclenchement.

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine
Capteur de position (ouverte/fermée)	ZS45	**soupape de blocage hors embase**	.	
	ZS44, ZS11	**Soupape de ventilation hors embase**		
	ZS5, ZS208	**Soupapes de blocage**		
	ZS742, ZS743	**Soupape de ventilation sur embase**		
Transmetteur de pression	PT2	**Soupape de contrôle du gaz combustible (en amont vanne de commande de combustible)**		
	PT181	**Soupape de contrôle du gaz combustible (en aval vanne de commande de combustible)**		
	PT3	Surveille la pression d'alimentation du gaz carburant en **amont des**		

		Soupapes de blocage		
Transmetteur (capteur) de pression différentielle	PDT116	**Soupape de contrôle du gaz combustible**		
	PDT1	**Filtre d'admission d'air de combustion**	90mm H2O en hausse	125mm H2O en hausse
Transmetteur de température	TT6	Surveille la température d'alimentation du gaz carburant en **amont de la soupape de contrôle de carburant.**		

IV- Système d'allumage :

Pendant le cycle de démarrage, une étincelle d'impulsion à haute énergie, produite par le système d'allumage, enflamme le mélange air/combustible dans la chambre de combustion.

Les composants du système :

1. **générateur d'étincelle** : permet de générer l'étincelle nécessaire pour enflammer le mélange air/combustible.
2. **ensemble allumeur rétractable** : il est constitué d'une tige d'allumage montée sur un rétracteur commandé par piston. Le piston du rétracteur est forcé par le ressort en position déployée, la tige d'allumage se trouvant dans le tube de flamme.

Pendant le cycle de démarrage, l'augmentation de pression du système de combustion agit sur le piston pour annuler la pression du ressort et rétracter la tige d'allumage.

V- Système de démarrage :

Le système de démarrage se compose d'un moteur électrique CA accouplé directement à la turbine grâce à la boite de vitesse, qui fais tourner l'arbre du compresseur du générateur de gaz pendant le cycle de démarrage.

Le moteur peut effectuer trois faux démarrages consécutifs avec une pause de cinq minutes entre les démarrages. Le moteur eut également entraîné la turbine pendant dix minutes, pour faciliter le nettoyage du compresseur. Si le moteur n'atteint pas une vitesse prédéterminée dans des délais indiqués, le circuit de protection va éteindre le moteur.

Instrumentation :

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	Points de consigne
Thermisteur	TD6, TD8, TD10	Moteur de démarrage			160 °C

VI- embase de turbine :

L'embase est la structure sur laquelle sont érigées **la turbine**, **la boite de vitesses** et **les systèmes connexes**.

VII- enceinte acoustique :

Montée sur **l'embase** de **la turbine,** elle est fournie pour **la turbine** et **la boite de vitesses auxiliaire,** sa fonction étant de réduire le niveau de bruit engendré par les équipements installés sur **l'embase. Un joint d'étanchéité** est placé entre **l'enceinte** et **l'embase** pour contribuer à la réduction du niveau de bruit.

VIII- système de ventilation d'enceinte:

Il est utilisé pour purger **l'enceinte** avant le démarrage, refroidir **la turbine** en service et pendant une certaine période à la suite de l'arrêt de **la turbine** et pour ventiler **l'enceinte** en continue en cas de fuite de gaz**.** Il aspire l'air de l'atmosphère et le refoule par **les composants du système** avant de le refouler à nouveau dans l'atmosphère. **Les amortisseurs** activés par produit extincteur sont situés aux **ouvertures (registres) d'entrée et de sortie de ventilation d'enceinte** qui se ferment positivement quand ils sont soumis à la pression de produit extincteur**.** Il faux réglés manuellement les amortisseurs à la position ouverte après la libération du produit extincteur.

Les composants du système :

1. **Silencieux d'entrée sortie : des silencieux** sont prévus pour réduire les émissions de bruit par la canalisation de ventilation de la turbine et **du ventilateur d'aération.**
2. **Ventilateur d'aération : les ventilation principale** et **de réserve** actionnés par **moteurs CA** sont montés dans les conduites d'admission de l'air de ventilation pour assurer la circulation d'un flux d'air à travers l'enceinte acoustique.
3. **filtre d'admission de ventilation :** un filtre de ventilation est prévu à l'admission du système de ventilation.

Instrumentation :

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine
Microcontact	ZS16	Registre d'entrée d'air de ventilation	Indique que le registre n'est pas entièrement ouvert.	
	ZS17	Registre de sortie d'air de ventilation	Indique que le registre n'est pas entièrement ouvert.	
Contacteur de débit d'air	FS4	Echappement d'air de ventilation (Registre de sortie d'air de ventilation)	En dehors de l'intervalle : 5-175 m/s	
Indicateur de pression différentielle (jauge de pression)	PDI6	**filtre d'admission d'air de ventilation**	En dehors de l'intervalle : 0-50 mm H2O	
Capteur (transmetteur)	PDT27	**filtre d'admission d'air de ventilation**	30 mm H2O en hausse	

de pression différentielle			**(haute pression du filtre)**	

IX- système d'entrée d'air :

Le système d'entrée d'air filtre et conduit l'air de combustion jusqu'au carter d'entrée de la turbine et incorpore un silencieux pour réduire le bruit produit par l'admission de la turbine.

Les composants du système :

1. **filtre d'entrée d'air** : filtre l'air nécessaire à la combustion. Le débit d'air fourni doit être suffisant pour assurer une alimentation continue.
2. **silencieux d'entrée d'air** :le silencieux permet de réduire les émissions de bruit de l'entrée de la turbine.

Instrumentation :

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	
Transmetteur de pression différentielle (capteur de pression)	PDT1	**filtre d'entrée d'air**	90 mm H2O en hausse	125 mm H2O en hausse	
Jauge de pression (Indicateur de pression différentielle)	PDI4	**filtre d'entrée d'air**			

X- système d'échappement :

Le système d'échappement évacue les gaz d'échappement de la turbine à l'atmosphère et comprend un silencieux pour réduire les émissions de bruit.

Les composants du système :

1. **Silencieux d'échappement** : il permet de réduire les émissions de bruit en provenance de l'échappement de la turbine.
2. **isolation acoustique et thermique** : placé en aval de l'enceinte acoustique, il permet de:
   - conserver la chaleur à l'intérieur du conduit, ce qui permet un rendement global du système.
   - garantir la protection du personnel.
   - Garantir l'atténuation acoustique.

XI- système de nettoyage du compresseur :

Le système de nettoyage de compresseur est conçu pour éliminer l'encrassage sur les pales du compresseur et assurer le rétablissement de la performance.

Les composants du système :

1. **chariot de nettoyage à l'eau mobile qui contient :**

- **réservoir de fluide de nettoyage / rinçage.**
- **Pompe à air à diaphragme.**
- **Tuyau flexible permettant la connexion sur le raccordement d'admission de nettoyage à l'eau de la turbine sur embase.**

Une source d'alimentation en air connectée au chariot est requise pour opérer la pompe à air.

Instrumentation :

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	Points de consigne
Manocontact (surveille la pression d'air)	PS60	Soupapes de purge	0.14 barg en baisse		

XII- système d'air d'étanchéité : des retenues placées sur chacune des boites des trois paliers empêchant que l'huile se trouvant à la surface de l'arbre de la turbine se répande tout le long de l'arbre. Ces retenues en forme de labyrinthe sont montées aux extrémités des assemblages des paliers, là où la retenue de l'huile se révèle nécessaire. Une surface polie est ménagée sur l'arbre, là où les paliers sont montés, de telle sorte qu'il n'y ait que très peu de jeu entre les retenues d'huile et l'arbre. Les retenues d'huile sont réalisées avec des rangées jumelées de dents, espacées par un vide circulaire. De l'air d'étanchéité sous pression est introduit dans cet espace et empêche le lubrifiant de se répondre le long de l'arbre. Une partie de cette air retourne avec l'huile au réservoir principale de lubrification et il est évacué par un ventilateur.

Les composants du système :

1. **vanne de purge** : purge la tuyauterie d'air d'étanchéité.

Instrumentation :

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	Points de consigne
Manocontact (surveille la pression d'air d'étanchéité)	PS60	Soupapes de purge	0.14 barg en baisse		

XII- système d'incendie et de gaz :

L'enceinte acoustique est munie d'un système de détection de gaz et d'incendie et d'un système d'extinction d'incendie pour protéger l'installation dans le cas d'une fuite de gaz ou d'un incendie.

Les composants du système :

1. **détecteurs thermiques (détecteurs de température élevée)** : deux détecteurs sont montés dans **l'enceinte de la turbine**. Si l'un des détecteurs détecte un incendie, un arrêt complet sera déclanché immédiatement et l'extincteur libéré au bout d'un certain temps.

2. **détecteurs de flamme Ultraviolet :** quatre détecteurs de flamme UV sont prévus et placés de manière à pouvoir détecter un incendie quelle que soit son emplacement dans l'**enceinte**. Si l'un des détecteurs détecte un incendie, un arrêt complet sera déclanché immédiatement et l'extincteur libéré au bout d'un certain temps. Si un défaut est détecté dans un des détecteurs, un avertissement de défaut est émis. Si un défaut est détecté dans un autre détecteur, un arrêt d'urgence sera déclanché.
3. **détecteurs de gaz :** deux détecteur de gaz sont installés dans **la sortie de ventilation d'enceinte acoustique.** Deux détecteurs de gaz additionneurs sont installés dans **l'orifice d'admission d'aération de l'enceinte acoustique**. Deux détecteurs de gaz additionneurs sont installés sur le **filtre d'admission d'air de combustion**. La détection de gaz par l'un des détecteurs provoquera soit une alarme soit l'arrêt complet de la turbine.

4. **bouteilles extinctrices** : quatre bouteilles d'extincteur d'incendie, deux initiales (principales) et deux de réserve, sont placées sur une embase à l'extérieur de l'enceinte acoustique de la turbine avec une tuyauterie de connexion avec les tuyères à l'intérieur de l'enceinte. Les bouteilles sont suspendues de dispositifs automatiques de pesée, si l'une des bouteilles, initiales ou de réserve, indique un bas niveau, un avertissement sera signalé. Si les deux jeux de bouteilles indiquent un bas niveau, un avertissement sera signalé, puis la turbine s'arrêtera complètement un quart d'heure plus tard. Une **vanne** située à proximité de l'embase de la bouteille de produit extincteur est prévue pour permettre une **isolation** manuelle. **La soupape** est munie de micro rupteurs pour indiquer quand la soupape est entièrement ouverte ou fermée. Quand la soupape est fermée, le déclanchement de système de ventilation de l'enceinte est inhibé.

Instrumentation :

Désignation	Instances	Composant ou emplacement surveillé	Alarme	Arrêt turbine	Points de consigne
Commutateur (mano-contact) de pression : fournit un signal de gaz CO2 libéré.	PS8, PS73	**Bouteilles extinctrices principales**			
Détecteur de température	DT1, DT2	**L'enceinte de la turbine**			
Détecteur de gaz	GD1, GD2	**L'enceinte de la turbine**	10% LEL	20% LEL	
	GD3, GD4	**Filtre d'admission d'aération**	10% LEL	20% LEL	
	GD6, GD11	**Filtre d'admission d'air de combustion**	10% LEL	20% LEL	
Détecteur de	YD5, YD6,	**L'enceinte de la turbine**			1900-

flamme	YD7, YD8				2450 Angstroms
Commutateur de position	ZS384, ZS235	**Soupape d'isolation** du CO2 dans les positions fermée et ouverte.			
	ZS749, ZS748	Condition de seuil bas de CO2 de la **deuxième bouteille principale** et **de la première bouteille principale.**			
	ZS751, ZS750	Condition de seuil bas de CO2 de la **deuxième bouteille de réserve** et **de la première bouteille de réserve.**			

Annexe C



OntoTurb Class Hierarchy

- :THING
  - :SYSTEM-CLASS
    - :ANNOTATION
      - :INSTANCE-ANNOTATION
    - :CONSTRAINT
      - :PAL-CONSTRAINT
    - :FUNCTION
      - :JESS-FUNCTION
    - :JESS-DEFINITION
      - :JESS-DEFFACTS
      - :JESS-DEFGLOBAL
      - :JESS-DEFMESSAGE-HANDLER
      - :JESS-DEFMETHOD
      - :JESS-DEFTEMPLATE
      - :JESS-FUNCTION
      - :JESS-RULE
    - :JESS-ENGINE
    - :META-CLASS
      - :CLASS
        - :STANDARD-CLASS
      - :FACET
        - :STANDARD-FACET
      - :SLOT
        - :STANDARD-SLOT
    - :RELATION
      - :DIRECTED-BINARY-RELATION
    - :RULE
      - :JESS-RULE
  - alarme
  - arret-complet
  - composant
    - composant auxiliaire
      - bloc collecteur
      - bouteilles extincteur
        - bouteilles extincteur de réserve
        - bouteilles extincteur initiales
      - coupe flamme
        - coupe-flamme du système d'aération du réservoir d'huile
        - coupe-flamme du système d'aération secondaire
      - détecteur
        - détecteur de flamme UV
        - détecteur de gaz
        - détecteur thermique
      - détendeur de pression
        - détendeur à action rapide
        - détendeur d'arrivée d'air
        - détendeur de pression huile lubrification
      - Eliminateur de brouillard d'huile

- filtre
  - filtre d'admission d'air de ventilation
  - filtre d'air moteur
  - filtre d'entrée d'air de combustion
  - filtre à air des instruments
  - filtre à huile de graissage auxiliaire
  - filtre à huile de graissage de secours
  - filtre à huile de graissage principale
  - filtre à huile hydraulique
- moteur
  - moteur à démarreur électrique
- pompe
  - pompe lavage compresseur
  - pompe VGV et à huile lubrification principale
  - pompe à huile auxiliaire
  - pompe à huile de secours
- purgeur
- refroidisseur d'huile
  - refroidisseur d'huile de réserve
  - refroidisseur d'huile principale
- regulateur de pression
- réservoir
  - réservoir d'huile de graissage
  - réservoir du chariot de nettoyage du compresseur
- soupape
  - soupape de blocage
    - soupape de blocage hors embase
    - soupape de blocage primaire
    - soupape de blocage secondaire
    - soupape de blocage sur embase
  - soupape de contrôle de la température
  - soupape de contrôle de pression
  - soupape de gaz combustible
  - soupapes de ventilation hors embase
- Thermoplongeur
- trémie arrivée du gaz combustible
- vanne
  - vanne d'aération
  - vanne d'aération sur turbine
  - vanne de commande combustible
  - vanne de commande thermostatique
  - vanne de régulation de pression
  - vanne de séparation
  - vanne de séparation de gaz combustible primaire
  - vanne de séparation de gaz combustible secondaire
  - vanne purge automatique
  - électrovanne

- composant de base.
  - aubes de rotor étage 1 turbine de puissance
  - aubes de rotor étage 1 turbine à compresseur
  - aubes de rotor étage 2 turbine de puissance
  - aubes de rotor étage 2 turbine à compresseur
  - aubes directrices de stator de compresseur à géométrie variable
  - boite de vitesse auxiliaire
  - carter d'entrée d'air
  - carter de paliers d'entrée de compresseur
  - carter de pression de la turbine (support de diffuseur d'échappement)
  - Carter de tuyauterie intermédiaire (entre la sortie de la TC et la TP)
  - carter du stator de compresseur basse pression

- carter du stator de compresseur haute pression
- carter externe de turbine de puissance
- diffuseur d'échappement
- embase de turbine
- enceinte acoustique
- ensemble rotor de compresseur
- ensemble rotor de turbine de puissance
- ensemble rotor de turbine à compresseur
- ensemble stator étage 1 turbine de puissance
- ensemble stator étage 2 turbine de puissance
- logement (carter) de paliers de la turbine de puissance
- membre support de pallier de compresseur
- paliers de tourillon de turbine de puissance
- paliers de tourillon de turbine à compresseur
- paliers avant le compresseur
  - palier de butée coté entrée du compresseur.
  - palier de tourillon coté entrée du compresseur.
- paliers de butèe de turbine à compresseur
- paliers de butée de turbine de puissance
- paliers principaux de turbine de puissance
- paliers principaux de turbine à compresseur
- support de paliers de la turbine à compresseur

- Instrument
  - capteur de température
  - commutateur
    - commutateur de position
    - commutateur de pression (pressostat)
    - commutateur-niveau
  - detecteur
    - detecteur de gaz
    - détecteur de bas niveau d'air de ventilation
    - détecteur de flamme
    - détecteur de température
  - indicateur de pression
    - Capteur de pression
    - capteur de pression différentielle
    - jauge de pression différentielle
  - Manométre
    - manométre d'arrivée d'air
    - manométre glissière huile lubrification
  - sonde
    - sonde de vibration axiale
    - sonde de vibration radial
    - sonde de vitesse
  - thermisteur
  - thermocouple
  - thermostat
- élément de composant
  - détendeur
    - détendeur de pression huile lub. auxiliaire
    - détendeur de pression huile lub. de secours
    - détendeur de pression huile lub. principale
    - détendeur à action rapide. pompe hydraulique
  - pompe hydraulique VGV
  - vanne d'aeration
  - vanne de commande de pression d'huile de graissage
  - vanne de separation
  - vanne hydraulique régulatrice de pression

- equipement

- Turbine à gaz
- parametres
  - Detection flamme
  - Detection gaz
  - Niveau
  - Position
  - Pression
  - Pression différentielle
  - surcharge
  - Temperature
  - Vibration
    - Vibration axiale
    - Vibration radiale
  - Vitesse
- probables
- remedes
- système connexe
  - système d'air d'étanchéité
  - système d'allumage
  - système d'entrée d'air
  - système d'huile de graissage
  - système d'incendie et de gaz
  - système de carburant
  - système de démarrage
  - système de nettoyage du compresseur
  - système de ventilation
  - système èchappement

^ back to top

Generated: 03/24/2007, 12:15:44 Õ, Central European Time

Protégé is a trademark of Stanford University, Copyright (c) 1998-2005 Stanford University.

Annexe D

Description des alarmes, de leurs causes et des remèdes à apporter :

Pannes/Alarme	**1. Causes Probable**	**Remèdes**
Pompe auxiliaire ne démarre pas.	1- Défaillance de la soupape VRI. 2- Défaillance du pressostat 63QA-1. 3- Défaillance de la VPR2.	1- Vérifier la soupape. 2- Changer le pressostat. 3- Vérifier la VPR2.
Défaut filtre à air (si utilisé)	- rouleaux terminés - trappe ouverte - thermique des moteurs	- remplacer les rouleaux - vérifier
Niveau bas eau refroidissement turbine (si utilisé)	- niveau bas (au dessous d'un minimum) dans réservoir d'eau	Refaire le plein et réparer les fuites.
baisse vitesse turbine.	Ralentissement turbine.	Réduire la charge de la machine entraînée.
Défaut électrique	Tensions de couplage indisponibles.	Vérifier le câblage et les fusibles des TP.
surcharge moteurs	Un des moteurs auxiliaire est surchargé.	Vérifier les moteurs et déterminer la cause de la surcharge.
défaut moteur de lancement. a. électrique b. diesel	1. Déclenchement intempestif. 2. Défaut du diesel pendant les 20mn du démarrage ou défaut pendant le refroidissement.	1. Chercher la cause de déclenchement. 2. Vérifier l'alimentation en fuel du diesel. 3. Vérifier la pression d'huile de graissage. 4. Vérifier la pression du fuel.
Cartes débrochées	Une des cartes est débrochée	Le démarrage est impossible si une des cartes est débrochées
défaut air d'atomisation	1. Pression insuffisante 2. température air en avant du compresseur d'atomisation est trop élevée	1. vérifier la pression différentielle du compresseur. 2. vérifier l'alimentation en eau du réfrigérant.

température huile haute ou basse	Défaut dans chauffage huile ou dans le réfrigérant.	Baisse : vérifier le fonctionnement des calrods de chauffage. Le démarrage est impossible si la température est trop basse. Haute : vérifier le fonctionnement des aéroréfrigérants et de la vanne thermostatique.
Température différentielle échappement	Dispersion trop importante des températures échappement	Vérifier la présence flamme dans toutes les chambres. Vérifier le circuit fuel aux injecteurs (pressions). Vérifier les thermocouples.
Après accouplement (du moteur de lancement avec la turbine) de turbine ne tourne pas	1- Manque ou non présence pression gaz de lancement. 2- Non excitation des électrovannes 20SV1 et/ou 20SG. 3- Déréglage du pilote de la vanne de lancement (FISHER).	1- Vitrification de la pression du gaz de lancement (Voir manomètre =28 bars). 2-Vérifications électrovannes (si elles sont excitées et vérification du distributeur). 3- Réglage du pilote.
Indicateurs d'allumage instable (Problème dans les chambres de combustion).	1- Tube de flamme défectueux. 2- Pièce de transition (convoyeur de flamme) fondu ou brûlé. 3- Tube de flamme écrasé. 4- Tube d'interconnexion trop chaud.	1- Changement des tubes. 2- Changement de pièce de transition. 3- contrôle des tubes et leur installation dans les chambres de combustion.
Pressions de gaz combustible augmente (système de combustion).	1- Interruption dans la ligne du gaz combustible. 2- Clapet anti–retour bloque. 3- Présence des condensât le gaz combustible. 4- Bouchage du diviseur de débit. 5- Défaillance de la chaîne de	1- Contrôle de la pression du gaz combustible. 2- Déposé et contrôlé le clapet. 3- Purge des lignes d'alimentation en fuel gaz. 4- Débouchage du diviseur de débit de gaz. 5- Contrôle et réétalonnage des éléments

	régulation. 6- Pression fuel gaz.	constituants La boucle de régulation.
Détecteur de gaz injecteur ne s'allume pas (Injecteur de gaz combustible).	1- Injecteur obstrués. 2- Injecteur de combustible dévissé. 3- Erosion des injecteurs de combustible. 4- Injecteur de combustible chauffé au rouge.	1- Débouchage des injecteurs. 2- Revisser les injecteurs de combustible. 3- Changement des injections. 4- Mettre des injecteurs adaptés à la turbine considérée.
Sous pression de gaz combustible (Enceinte de la turbine HP sous pression).	1- Chambre de combustible fendue. 2- Joint d'étanchéité endommagé. 3- Canalisation de tube d'interconnexion endommagée. 4- Fuit du gaz combustible à travers le détecteur de flamme ou des bougies d'allumage.	1- Changement des chambres de combustion. 2- Changement du joint d'étanchéité. 3- Changement des tubes d'interconnexion. 4- Changement des joints des détecteurs de flamme et des bougies.
baisse pression combustible (pour machine dual fuel)	Baisse pression fuel quant on marche au fuel et inversement	Vérifier l'alimentation en gaz Vérifier l'alimentation en fuel.
Directrice de premier étage est bloquée	1- Directrice du premier étage brûlée. 2- Directrice de premier étage bloquée.	1- Changement des aubes de la directrice. 2- Vérification et déblocage de la directrice.
Bruit anormal au niveau du compresseur axial.	1- Détérioration des aubes dues à des objets étranges. 2- Accumulation de poussière. 3- Corrosions. 4- Erosion des bouts. 5- Jeu du pied des aubes du stator. 6- Détérioration ou usure des paliers porteurs.	1- Contrôle ou inspection endoscopique de toute la section compresseur axial. 2- Démontage si nécessaire pour échange des pièces hors service ou endommagées.

Pressions de huile commande diminue.	1- Fuite au niveau du circuit huile de commande. 2- Mano de contrôle de pression défectueux. 3- Filtre d'huile de commande encrasse	1- Echange filtre d'huile. 2- Contrôle visuel de tout le circuit huile commande et étanchéité fuite si nécessaire
Baisse pression huile de graissage ou démarrage pompe de secours au dessus d'une certaine valeur fixée de nombre tr/mn, ou cette pompe continue à marcher en fin de séquence de démarrage.	Pression d'huile inférieure à limite fixée, ou pompe continue à marché pendant le fonctionnement normal.	Vérifier la pression d'huile. Chercher les fuites. La turbine déclanche si la pression tombe en dessous d'une certaine valeur fixée.
L'embrayage à griffes n'embraye pas.	1- Les vérins d'embrayage ne sont pas alimentés. 2- Fuit d'huile d'alimentation très importante dans le circuit Hydraulique. 3- Blocage du système d'embrayage à carpeau.	1- Vérifier le circuit hydraulique du système. 2- Vérifier la pression dans le circuit d'alimentation. 3- Vérifier l'état des vérins d'accouplement.
Le rotor ne décollé pas (stabilité du rotor).	1- Manque de gaz de lancement. 2- Vanne d'alimentation en gaz défectueuse. 3- La pression du gaz de lancement ne monte pas.	1- Vérifie la vanne de gaz de lancement et ses auxiliaires. 2-contrôle de la pression dans le collecteur de lancement.
Indicateurs d'allumage ne s'allume pas (Problème dans les chambres de combustion).	1- Circuit d'allumage non alimenté (bougie) : défaut pendant la minute d'allumage. 2- Manque de pression de gaz combustible (pressions aux injecteurs). 3- Manque d'alimentation en	1- Vérifier le circuit électrique (vérifier l'alimentation en alternatif des bougies d'allumage). 2- Vérifier la pression du gaz combustible (pressions aux injecteurs). 4- Réparer ou régler les relais et les bougies (vérifier que les bougies sont dans la position correcte (enfoncées),…).

	gaz combustible. 4- Bougie d'allumage défectueuse : défaut après la minute d'allumage. 5- Relais de vitesse non enclenché. 6- absence de détection pour un détecteur. 7- présence flamme avec TG à l'arrêt.	6- vérifier la présence flamme dans toutes les chambres. - vérifier que les rayons lumineux arrivent bien sur le détecteur. 7- vérifier le fonctionnement du système de detection.
La turbine s'allume mais s'éteint (Faibles allumages de l'indicateur de flamme).	1- Détecteur de flamme défectueux (étalonnage incorrect). 2- Faible débit de combustible.	1- Etalonnage du détecteur de flamme selon spécification du constructeur. 2- Contrôle du système de combustible.
Bruits anormaux sur la turbine (Déclenchement de la turbine par vibrations excessives).	1- Mauvais fonctionnement du vireur (rotor fléchi). 2- Sondes de vibrations hors service H.S. 3- Pompage du compresseur axial. 4- Détérioration des paliers de la turbine.	1- Faire marcher le vireur du groupe turbine pendant 10mn. 2- contrôle de l'étalonnage des sondes de vibration. 3- Contrôle de la qualité d'huile (huile polluée).
Augmentation excessive de la vitesse.	1- Commande incorrecte de la vanne. 2- Mauvais fonctionnement de la carte électronique de commande de combustible.	1- Contrôle de la vanne de commande. 2- contrôle ou échange de la carte électronique de commande de combustible.
Haute température échappement turbine	1- Thermocouples d'échappement hors service. 2- Thermocouple d'échappements étalonnés incorrectement.	1- Contrôle de l'état des thermocouples. 2- Echange des thermocouples. 3- vérifier le système de déclenchement. 3- la turbine ne doit pas être démarrée que si les défauts ont été corrigés.
Certaines chambres ne s'allument par.	1- Injecteur de combustible bouché, sale ou fuite. 2- Tube d'interconnexion	1- contrôle de l'état des tubes d'interconnexion et des injecteurs. 2- Contrôle de l'état des joints

	défectueux. 3- Arrivée lente du gaz combustible.	d'injecteurs des chambres non allumées.
Panne du vireur hydraulique (Températures anormales sur axe HP).	1- Pression insuffisante du vireur au bout de cinq minutes lors du cycle de refroidissement, vireur incapable de faire tourner l'arbre HP.	1- Vérifier 88HQ et la pression d'huile de graissage si le groupe n'est pas en marche. 2- Mettre le secteur de la pompe d'huile de commande HP. 3- Vérifier l'accouplement de l'embrayage à griffe.
La pompe d'huile de graissage de secours n'a pas démarré.	1- La pompe d'huile de graissage de secours est défectueuse. 2- Le conducteur d'alimentation de secours n'a pas été alimenté.	1- Après un signal de démarrage, la pompe de secours devrait démarrer puis s'arrêter 12 secondes plus tard par la pression de la pompe d'huile.
Sous-tension de la pompe de graissage de secours	1- la pompe de graissage de secours présente une faible tension.	1- Vérifier la pression d'huile de graissage si la pompe est en marche. Ne pas aller en dessous de la « séquence complète » avant que ne soit vérifier la pompe auxiliaire de graissage 2- Tester 88QA afin de s'assurer qu'elle est disponible puis faire marcher le groupe au relent et vérifier le fonctionnement de la pompe avant de donner l'ordre d'arrêt.
Manque de tension continue Baisse tension	Cellule pompe à huile continue non alimentée. Tension batterie inférieure à la valeur fixée.	Vérifié que le sélectionneur est bien fermé dans le moteur CC. La turbine peut être démarrée que si la cellule de la lampe est alimentée. Vérifier que le chargeur de batterie est bien alimenté. Vérifier ses fusibles. La turbine ne fonctionne plus avec une tension si basse.

Haut température enceinte turbine (compartiment de turbine).	1- Sondes d'affectueuses. 2- Incendie (présence de feu autour de la section combustion). 3- Fuite d'air chaud au compartiment turbine. 4- Ventilateur non fonctionnel.	1- contrôle de l'état du ventilateur (fonctionnement du ventilateur avec volet ouvert). 2- Contrôle de l'état et l'emplacement de sondes.
Pas de commande au niveau accélérateur de turbine (Incendie dans le compartiment turbine).	1- Fuites probables des tuyauteries de combustible ou capteur défectueux.	1- Inspection du comportement turbine. 2- Déclenchement si nécessaire le système de CO_2 3- Déclenchement le turbine.
Diminution de niveau d'huile dans la caisse (cuve) de turbine (La turbine n'accélère pas).	1- Le compresseur d'air ne fonctionne pas (encrassé). 2- Encrassement des filtres d'aspiration d'air. 3- Diminution de la pression de refoulement du compresseur.	1- Echange des filtres d'aspiration. 2- Nettoyage du compresseur axial.
Niveau bas ou haut d'huile de graissage dans la caisse turbine.	1- Le niveau est réellement bas par manque d'huile ou haut par excès d'huile.	1. Contrôle du niveau par la jauge. 2. Contrôle du niveau à travers le niveau à glace. 3. rétablir le niveau normal. 4. réparer les fuites.
Pression différentielle élevée des filtres d'huile graissage.	1- Filtre encrassé. 2- Manomètre défectueux.	1- Vérifier le manomètre entre les deux filtres (sur tableau). 2- Employer la vanne filtre puis effectuer un contrôle de la pression sur le manomètre.
Basse pression huile hydraulique HP.	1- Fuite au bout d'arbre de la pompe. 2- Fuite du circuit hydraulique HP. 3- Soupape de la pompe mal - tarée	1- Contrôle de l'état de bout d'arbre de la pompe. 2- Etanchéité de la fuite. 3- Tarage de la soupape. 4- vérifier l'alimentation du filtre HP et sa pression différentielle. 5- régler les vannes ou la pompe.

Manque pression huile sécurité	Pression basse dans le circuit de déclenchement.	Vérifier le filtre à huile de ce circuit et les tuyauteries.
Température instable sur le distributeur collecteur des paliers (Températures instables au nivaux des paliers).	1- Dépôt ou encrassement des tubes ou orifices d'alimentation des paliers de graissage 2- Dépôt ou encrassement sur les tubes des échangeurs thermiques.	1- Démonter et nettoyer.
1- Diminution de la pression de refoulement du compresseur axial de la turbine. 2- Consommation élevé du combustible. 3- Diminution de la puissance. 4- Diminution du débit d'air. 5- bas rendement du compresseur par rapport au gaz combustible. 6- bas rapport de compression.	1- Encrassement du compresseur.	1- Nettoyage et lavage du compresseur selon les méthodes cités par le constructeur.
Survitesse turbine ou défaut circuit capteur.	Déclenchement par survitesse ou défaut circuit	1. Réarmer après un déclenchement 2. Déterminer les défauts avant de relancer la machine.
Défaut vireur	Surcharge moteur ou défaut dans la marche cyclique.	1. Vérifier la charge moteur. 2. Vérifier le fonctionnement du vireur. 3. Chercher la cause de l'augmentation de puissance. 4. vérifier les minuteries de commande.
Manque de tension CC	CC non alimenté ou baisse de tension	1. Vérifier l'arrivée de la valeur de tension nécessaire.

		2. Vérifier que les disjoncteurs sont fermés.
Vibration ou défaut circuit turbine.	Vibration trop élevée ou défaut dans le détecteur.	1. Vérifier que le capteur fonctionne correctement. Si l'alarme apparaît pendant le démarrage, vérifier les vibrations. 2. Vérifier le circuit du capteur et son fonctionnement.
Masse rotor - défaut électrique	Défaut d'isolement du rotor	Le fonctionnement dans cette état est possible mais déconseillé car l'apparition d'une seconde masse entraînerait de gros dégâts.
Incendie	Incendie dans la turbine, compartiments auxiliaires ou machine entraînée.	Le démarrage après le fonctionnement de la protection incendie nécessite le remplissage des bouteilles CO2, le réarmement des volets d'aération…
Défaut vannes décharge compresseur ou aubes mobiles d'entrée	Les vannes ou les aubes n'ont pas fonctionné ou ont fonctionné hors séquence	Le problème doit être élucidé avant de relancer. Réarmer manuellement le circuit d'alarme.
défaut alimentation Speedtronic	Défaut dans les alimentations.	Vérifier les tensions, fusibles et disjoncteurs.