



HAL
open science

**Contribution à un système de retour d'expérience basé
sur le raisonnement à partir de cas conversationnel :
application à la gestion des pannes de machines
industrielles**

Negar Armaghan

► **To cite this version:**

Negar Armaghan. Contribution à un système de retour d'expérience basé sur le raisonnement à partir de cas conversationnel : application à la gestion des pannes de machines industrielles. Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009. Français. NNT : 2009INPL026N . tel-01748785

HAL Id: tel-01748785

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748785v1>

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

NANCY UNIVERSITE
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET INGENIERIE
RESSOURCES PROCEDES PRODUITS ENVIRONNEMENT (RP2E)

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPL

DISCIPLINE : GENIE DES SYSTEMES INDUSTRIELS

Présentée par

Negar ARMAGHAN

**Contribution à un système de retour d'expérience basé sur le
raisonnement à partir de cas conversationnel:
application à la gestion des pannes de machines industrielles**

Soutenue publiquement le 28 mai 2009 devant le jury composé de :

| | | |
|-----------------------|---|--------------------|
| M. Vincent BOLY | Professeur, ERPI-ENSGSI-INPL | Président |
| M. Jean-Pierre BOUREY | Professeur, École Centrale de Lille | Rapporteur |
| M. Emmanuel CAILLAUD | Professeur, Université de Strasbourg | Rapporteur |
| M. Jean RENAUD | Maître de Conférences-HDR, ERPI-ENSGSI-INPL | Directeur de thèse |
| Mme. Béatrice FUCHS | Maître de Conférences, Université Lyon 3 | Examineur |
| M. Pascal LHOSTE | Professeur, Directeur le l'ERPI-ENSGSI-INPL | Examineur |
| M. Daniel TISSERANT | Directeur Industriel | Invité |
| | Directeur de MACSOFT du groupe NUMALLIANCE | |

Ce travail de recherche a été préparé au sein du laboratoire Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs de l'École Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels, 8, rue Bastien Lepage, BP 90647, 54010 NANCY Cedex.

*A mes très chers parents,
avec toute mon affection*

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, **Jean RENAUD**, Maître de Conférences, Habilité à Diriger les Recherches à l'ENSGSI, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer mon travail de recherche. Je souhaite lui exprimer ma reconnaissance pour ses soutiens scientifique et humains, sa disponibilité, ses encouragements, et sa gentillesse et lui dire à quel point nos rencontres ont su faire avancer mon travail.

J'ai à cœur de remercier également **Vincent BOLY**, Professeur à l'ENSGSI, et **Pascal LHOSTE**, Professeur et Directeur de l'ENSGSI, ainsi que les Directeurs successifs du laboratoire ERPI, pour m'avoir accueillie dans d'aussi bonnes conditions de travail. L'énergie déployée par ces deux directeurs, au cours de leur mandat respectif, a su porter mon travail jusqu'à son aboutissement. Je leur en suis profondément reconnaissante pour leurs soutiens et leurs conseils précieux au cours de mes travaux de recherches.

Je tiens à remercier **Jean-Pierre BOUREY**, Professeur à l'École Centrale de Lille, et **Emmanuel CAILLAUD**, Professeur à l'Université de Strasbourg, d'avoir accepté de juger mon travail de recherche en tant que rapporteurs ainsi que **Béatrice FUCHS**, Maître de Conférences à l'Université Lyon, pour avoir accepté d'être examinateur de mes travaux.

Je remercie très sincèrement **Daniel TISSERANT**, Directeur du site MACSOFT du groupe Numalliance, pour son accueil, sa disponibilité et sa gentillesse dont il fait preuve à mon égard. Je garderai un souvenir extraordinaire des dix-huit mois passés au sein de son entreprise. J'y ai beaucoup appris grâce à lui mais également grâce à l'ensemble de ses collaborateurs.

Je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude à **Véronique DONO**, assistante de direction du laboratoire ERPI, pour son aide quotidienne dans la gestion des dossiers des doctorants mais surtout pour son humeur toujours égale et sa gentillesse sans faille. Je tiens à remercier également l'ensemble des personnels administratifs et techniques pour leur aide et leur sollicitude.

Je remercie l'ensemble des enseignants-chercheurs du laboratoire et de l'ENSGSI pour nos rencontres formelles et informelles si riches de conseils.

Je remercie en particulier **Valérie RAULT**, Maître de Conférences et la Directrice des études de l'ENSGSI, pour m'avoir confié des actions pédagogiques ainsi que **Jean-Pierre GRANDHAYE**, Maître de Conférences à l'ENSGSI. Tous deux ont grandement participé à l'amélioration de mes compétences d'enseignante. Merci à vous.

J'adresse également mes remerciements à **Patrick TRUCHOT**, Professeur à l'ENSGSI, et **Benoît ROUSSEL**, Maître de Conférences à l'ENSGSI, et **Frédérique MAYER**, Maître de Conférences à l'ENSGSI, pour leurs conseils et leur soutien dans mes moments de doute.

Je voudrais également remercier **Laure MOREL**, Professeur de l'ENSGSI, pour nos dialogues francs et directs qui m'ont permis de repositionner mes priorités de doctorante. Merci réellement, Laure.

Je souhaite remercier l'ensemble des doctorants et des étudiants de Master avec lesquels j'ai partagé des moments agréables.

J'ai à cœur de remercier mes amis **Olivier** et **Catherine** qui m'ont soutenue tout au long de cette aventure intellectuelle. Vous avez été là dans mes moments de joie mais aussi de peine et je ne l'oublierai jamais.

Je voudrais également remercier **Saeed HAGHIR**, Professeur de l'Université de Téhéran, pour ses précieux conseils et son amitié sans faille.

Je ne peux oublier **mes parents**, ainsi que ma sœur et mon frère, **Lâleh** et **Pooyâ**, qui m'ont tant manqué durant toutes ces années mais dont les appels fréquents me remettaient à chaque instant du baume au cœur pour pouvoir avancer un peu plus. Sans votre soutien, et cela malgré la distance, je n'aurais pu réussir. Merci d'avoir cru en moi.

Enfin, mes derniers remerciements sont pour toi - *tu te reconnaîtras* – qui m'a soutenue, supportée, portée, encouragée, écoutée... . Tu as toujours été là pour moi et je le serai pour toi. Merci à toi du plus profond de mon âme.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 12 |
| CHAPITRE 1 : EXPERIENCE ET RETOUR D'EXPERIENCE : PROBLEMATIQUE GENERALE..... | 21 |
| 1.1. Introduction | 22 |
| 1.2. Contexte industriel et problématique sociétale | 22 |
| 1.3. Quelques définitions..... | 26 |
| 1.4. Cycle de vie de la connaissance | 31 |
| 1.5. Le cycle de vie du retour d'expérience | 32 |
| 1.6. Mémoire d'entreprise ou mémoire de connaissances : pourquoi faire ?..... | 34 |
| 1.7. Retour d'expérience et apprentissage..... | 35 |
| 1.8. Positionnement de nos travaux..... | 37 |
| CHAPITRE 2 : APPROCHE DU RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS..... | 39 |
| 2.1. Introduction | 40 |
| 2.2. La présentation générale et l'historique du RàPC | 40 |
| 2.2.1. <i>Le retour d'expérience et le raisonnement à partir de cas</i> | 40 |
| 2.2.2. <i>La définition du Raisonnement à partir de Cas</i> | 43 |
| 2.2.3. <i>L'origine du RàPC</i> | 44 |
| 2.2.4. <i>L'historique du RàPC</i> | 45 |
| 2.3. Le principe du RàPC | 46 |
| 2.3.1. <i>Le raisonnement par analogie : le carré d'analogie et le RàPC</i> | 46 |
| 2.3.2. <i>Représentation d'un cas</i> | 47 |
| 2.4. Les cycles du RàPC..... | 48 |
| 2.4.1. <i>Le cycle du RàPC Classique</i> | 48 |
| 2.4.2. <i>Élaboration</i> | 49 |
| 2.4.3. <i>Remémoration</i> | 50 |
| 2.4.3.1. <i>Les techniques de recherche des cas similaires</i> | 50 |
| 2.4.4. <i>Réutilisation</i> | 52 |
| 2.4.5. <i>Révision</i> | 53 |
| 2.4.6. <i>Mémorisation et apprentissage</i> | 54 |
| 2.5. L'hierarchisation des tâches du RàPC..... | 55 |
| 2.5.1. <i>L'hierarchisation des tâches du cycle classique</i> | 55 |
| 2.5.2. <i>Le cycle du RàPC amélioré</i> | 57 |
| 2.5.3. <i>L'hierarchisation des tâches du RàPC amélioré</i> | 58 |
| 2.5.4. <i>Les composants d'un système RàPC</i> | 59 |
| 2.6. La formalisation et l'organisation des cas dans le système du RàPC | 60 |
| 2.6.1. <i>La résolution de problèmes et le système interprétatif</i> | 60 |
| 2.6.2. <i>Le modèle d'indexation des cas</i> | 61 |
| 2.6.3. <i>Le modèle d'organisation des cas dans une base de cas</i> | 62 |
| 2.7. Les avantages et les limites du RàPC..... | 62 |
| 2.8. La relation entre l'innovation et le RàPC..... | 65 |
| 2.8.1. <i>Qu'est-ce qu'un « problème d'innovation » dans un système RàPC ?</i> | 65 |
| 2.8.2. <i>Une étude comparative entre des approches RàPC et TRIZ</i> | 67 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.8.3. | <i>RàPC : une approche inventive</i> | 70 |
| 2.9. | Les domaines d'application du RàPC | 70 |
| 2.10. | Les modèles de RàPC..... | 71 |
| 2.10.1. | <i>Le modèle structurel</i> | 71 |
| 2.10.2. | <i>Le modèle textuel</i> | 72 |
| 2.10.3. | <i>Le modèle conversationnel</i> | 72 |
| 2.11. | Conclusion du chapitre..... | 72 |

CHAPITRE 3 : LE RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS CONVERSATIONNEL ET SES APPLICATIONS EN DIAGNOSTIC INDUSTRIEL 74

| | | |
|--------|---|----|
| 3.1. | Introduction | 75 |
| 3.2. | Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel (RàPCC)..... | 75 |
| 3.2.1. | <i>Définition de la conversation dans le RàPCC et son historique</i> | 75 |
| 3.2.2. | <i>Description du RàPCC et son processus</i> | 76 |
| 3.2.3. | <i>Description d'un « cas » conversationnel</i> | 79 |
| 3.2.4. | <i>Quelques conseils pour concevoir une bonne base de cas</i> | 81 |
| 3.2.5. | <i>Comment améliorer l'interaction entre le système du RàPCC et l'utilisateur ?</i> | 81 |
| 3.2.6. | <i>Relations sémantiques liées à la sélection des questions en RàPCC</i> | 82 |
| 3.2.7. | <i>Les tâches de mise en place d'un système RàPCC</i> | 84 |
| 3.3. | Diagnostic industriel et raisonnement à partir de cas..... | 86 |
| 3.3.1. | <i>Description du diagnostic industriel</i> | 86 |
| 3.3.2. | <i>Classification des diagnostics</i> | 89 |
| 3.3.3. | <i>Les problèmes rencontrés lors d'un diagnostic</i> | 89 |
| 3.3.4. | <i>Différents système de diagnostic en RàPC et RàPCC</i> | 90 |
| 3.4. | Conclusion du Chapitre | 94 |

CHAPITRE 4 : PROPOSITION METHODOLOGIQUE DE L'UTILISATION DE RAPCC POUR LE RETEX : DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME D'AIDE AU DIAGNOSTIC ET REPARATION 96

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.1. | Introduction | 97 |
| 4.2. | Présentation de notre méthode | 97 |
| 4.3. | Description des événements (pannes) | 98 |
| 4.4. | Élaboration de l'ensemble des solutions à apporter aux pannes | 100 |
| 4.5. | Mise en place d'une aide au diagnostic par des protocoles de décision | 100 |
| 4.5.1. | <i>Limite des collectes des informations</i> | 101 |
| 4.5.2. | <i>Arbre de défaillances</i> | 102 |
| 4.5.3. | <i>Les avantages et les limites de l'arbre de défaillance</i> | 103 |
| 4.5.4. | <i>Formalisation des connaissances tacites et la proposition de diagnostic par des protocoles de décisions</i> | 104 |
| 4.6. | Représentation et formalisation d'une carte de résolution de problème | 106 |
| 4.7. | Principe du système proposé | 108 |
| 4.8. | Remémoration guidée par adaptation..... | 108 |
| 4.9. | Proposition de la maquette informatique | 109 |
| 4.10. | Conclusion et attentes..... | 111 |

| | |
|---|------------|
| CHAPITRE 5 : APPLICATION : UN SYSTEME DE RETOUR D'EXPERIENCE BASE SUR LE RAPCC : APPLIQUE A LA GESTION DES PANNES DE MACHINES INDUSTRIELLES..... | 113 |
| 5.1. Introduction | 114 |
| 5.2. Objectif expérimental et démarche | 114 |
| 5.3. Contexte industriel | 115 |
| 5.3.1. <i>Présentation de l'entreprise</i> | 116 |
| 5.3.2. <i>Problématique industrielle</i> | 116 |
| 5.3.3. <i>Cadre d'étude</i> | 119 |
| 5.3.3.1. Les machines fabriquées dans l'entreprise | 119 |
| 5.3.3.2. Description de la machine F37 | 120 |
| 5.4. Description de la mise en œuvre de notre démarche à l'entreprise..... | 120 |
| 5.4.1. <i>Description des événements : compréhension des phénomènes de pannes ...</i> | 123 |
| 5.4.1.1. Étude statistique des pannes | 123 |
| 5.4.1.2. Regroupement des thèmes et sous-thèmes | 124 |
| 5.4.1.3. Approche détaillée des phénomènes de pannes par composant | 127 |
| 5.4.1.4. Intégration de données formelles et informelles..... | 130 |
| 5.4.2. <i>Élaboration de l'ensemble des solutions apportées aux pannes</i> | 131 |
| 5.4.3. <i>Mise en place d'une aide au diagnostic : les protocoles de décisions</i> | 135 |
| 5.4.4. <i>Propositions d'une architecture informatique</i> | 138 |
| 5.4.4.1. Ontologie du système de pliage selon la machine F37..... | 138 |
| 5.4.4.2. Proposition d'un mode de recherche des cas..... | 140 |
| 5.4.4.3. Hiérarchisation des informations dans la base de cas..... | 140 |
| 5.4.4.4. Remémoration | 141 |
| 5.4.4.5. Formalisation de la base de cas | 141 |
| 5.4.5. <i>La maquette « GOSHAYESH »</i> | 142 |
| 5.5. Discussion : analyse de l'expérimentation | 148 |
| 5.6. Conclusion du chapitre..... | 149 |
| CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES | 151 |
| BIBLIOGRAPHIE | 157 |
| ANNEXES | 171 |

LISTE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|-----|
| Figure 1. Démarche scientifique de notre recherche..... | 21 |
| Figure 2. Processus générale de réalisation du retour d'expérience à partir d'un événement [Source : Kamsu Foguem et al., 2008] | 31 |
| Figure 3. Modes et processus de transfert [Source : inspiré de Balmisse, 2002] | 32 |
| Figure 4. Cycle du retour d'expérience [Source : Renaud, 2008] | 34 |
| Figure 5. Le carré d'analogie [Source : Mille et al., 1996] | 48 |
| Figure 6. Le Cycle de Raisonnement à Partir de Cas [Source : Mille, 2006] | 50 |
| Figure 7. La décomposition des tâches-méthodes en RàPC [Source : Aamodt & Plaza, 1994] | 54 |
| Figure 8. Les six étapes du cycle de RàPC (six RE) [Source : Roth-Berghofer & Iglezakis, 2001] | 58 |
| Figure 9. L'étape de l'application et des décompositions des tâches [Source : Roth-Berghofer & Iglezakis,2001] | 60 |
| Figure 10. L'étape de la maintenance et ses décompositions de tâches et méthodes [Source : Roth-Berghofer & Iglezakis, 2001] | 60 |
| Figure 11. Modèle générique d'un système RàPC [Lamontagne & Lapalme, 2002] | 61 |
| Figure 12. La classification des différents types de problèmes [Source : Fuchs, 1997] | 62 |
| Figure 13. Approche de résolution de problème par TRIZ [Source : Cortes Robles, 2006] ... | 69 |
| Figure 14. Le processus de résolution de problème dans l'approche TRIZ-RàPC [Source : Cortes Robles et al., 2008] | 70 |
| Figure 15. Le processus générique de la résolution de problème en RàPCC [Source : Aha et al., 2001] | 78 |
| Figure 16. Le Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel [Source : Gu, 2005] | 80 |
| Figure 17. Le mécanisme de contrôle de base en PATDEX [Source : Althoff et al., 1989]... | 92 |
| Figure 18. Structure d'un cas dans le CasePoint[Source : Grant et al., 1996]..... | 93 |
| Figure 19. Les démarches de notre méthode [Source : Notre recherche] | 98 |
| Figure 20. Source d'information dans le cas d'une démarche de diagnostics [Source : Notre recherche]..... | 99 |
| Figure 21. Symboles utilisé pour la construction d'arbres de défaillances [Source : Zwingelstein, 1995] | 103 |
| Figure 22. Exemple d'un arbre de défaillances..... | 104 |
| Figure 23. Système de diagnostic à base d'arbre de défaillance ; exemple d'une télécommande de la télévision [Source : Notre recherche]..... | 106 |
| Figure 24. Exemple de carte de résolution de problème [Source : Notre recherche]..... | 108 |
| Figure 25. Algorithme du système proposé [Source : Notre recherche]..... | 109 |

| | |
|---|-----|
| Figure 26. Exemple d'une « fiche d'appel » [Source : Archive de l'entreprise]..... | 118 |
| Figure 27. Composant de la machine F37 [Source : Notre recherche]..... | 122 |
| Figure 28. Architecture de la machine standard F37..... | 123 |
| Figure 29. Évaluation du nombre de pannes par rapport aux thèmes du 1999 au 2007 [Source : Notre recherche]..... | 124 |
| Figure 30. Évaluation du nombre de pannes par rapport aux sous-thèmes électrique du 1999 au 2007 [Source : Notre recherche]..... | 125 |
| Figure 31. Nouvelle organisation proposée sur les nombres de pannes par rapport aux thèmes [Source : Notre recherche]..... | 126 |
| Figure 32. Réorganisation du nombre de pannes par rapport aux sous-thèmes Électrique-Électronique [Source : Notre recherche]..... | 127 |
| Figure 33. Les problèmes liés aux composants du variateur [Source : Notre recherche]..... | 128 |
| Figure 34. Nouvelle composition des problèmes [Source : Notre recherche]..... | 129 |
| Figure 35. Protocole de décision des « problèmes vitesse moteur excessive » [Source : Notre recherche]..... | 136 |
| Figure 36. Ontologie du système pliage selon la machine F37 [Source : Notre recherche]... | 140 |
| Figure 37. Hiérarchisation des informations dans la base de cas [Source: Notre recherche]. | 142 |
| Figure 38. La page de démarrage du système « GOSHAYESH »..... | 143 |
| Figure 39. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème le système GOSHAYESH (Questions 1 et 2)..... | 144 |
| Figure 40. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 3)..... | 145 |
| Figure 41. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 4)..... | 146 |
| Figure 42. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 5)..... | 146 |
| Figure 43. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 6)..... | 147 |
| Figure 44. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Questions 7)..... | 147 |
| Figure 45. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Questions 8)..... | 148 |
| Figure 46. La « carte de résolution de problème » : récapitulatif..... | 148 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 1. Tableau comparatif entre la connaissance tacite et la connaissance explicite..... | 28 |
| Tableau 2. La comparaison de RàPC avec d'autres méthodes [Source : adapté de Dieng-Kuntz, 2001]..... | 42 |
| Tableau 3. Tableau de l'évolution du Raisonnement à Partir de Cas [Source : Notre recherche] | 71 |
| Tableau 4. Les chemins de résolution de problème [Source : Notre recherche]..... | 105 |
| Tableau 5. Présentation des machines produites dans l'entreprise [Source : Notre recherche] | 119 |
| Tableau 6. Sous thèmes du problème Électrique-Électronique et nombre d'appels..... | 126 |
| Tableau 7. Description des problèmes du variateur | 129 |
| Tableau 8. Descriptions des symptômes rencontrés par client lors d'une panne sur | 130 |
| Tableau 9. Description des symptômes constatés par client sur la machine lors d'une panne | 130 |
| Tableau 10. Liste des symptômes représentés sur le menu d'aide de la machine F37 | 131 |
| Tableau 11. Regroupent les données Problèmes, l'origine de pannes, Symptômes, Solutions | 135 |
| Tableau 12. Les chemins de résolution du problème « Température ambiante excessive ».. | 137 |

INTRODUCTION GENERALE

L'expérience des différents acteurs industriels représente un capital important dans l'entreprise. Elle comprend d'une part, la partie cognitive du savoir-faire et d'autre part, le jugement de l'acteur sur l'activité. Une partie de cette expérience peut être formalisée en fonction de la situation vécue par l'individu. Le fait de conserver l'expérience en vue de la réutiliser ultérieurement permet d'épargner du temps, de l'argent et d'améliorer sa réactivité vis à vis du marché. La perte de cette expérience a amené les entreprises à accélérer la recherche de moyens visant à la capitaliser en vue d'une réutilisation ultérieure.

La gestion de l'expérience et de sa réutilisation, plus connue sous le nom de « RETour d'EXpérience, RETEX » (Knowledge Management ou management des connaissances) est devenue un enjeu primordial, voire un avantage concurrentiel pour l'entreprise. Elle permet d'améliorer les performances de ses processus industriels et l'organisation de l'entreprise. Le retour d'expérience fait partie de la gestion des connaissances liées à l'expérience et plus particulièrement aux connaissances tacites. Dans notre mémoire nous serons amenés à définir précisément les notions de connaissances dans leur dimension explicite et tacite. Puis nous exposerons un état de l'art de la notion d'expérience avant de détailler les caractéristiques du retour d'expérience vu comme un processus [REXAO, 2003].

Ainsi, le RETEX devient une problématique scientifique de plus en plus présente dans les laboratoires de recherche comme celui de l'ERPI (Equipe de recherche des Processus Innovatifs). Ce défi est alors de résoudre les questions suivantes : « Comment réutiliser et exploiter des expériences ? », « Comment établir des corrélations entre les différentes expériences ? », ou encore, « Comment formaliser, récupérer et archiver ces expériences afin de les mettre à la disposition d'autres personnes? ».

Fort de ces questions, il s'agit de contribuer à résoudre cette problématique de retour d'expérience. Ainsi, dans une situation de résolution de problèmes, il est utile de capitaliser les expériences afin de limiter l'effort à fournir lors de l'apparition de situations similaires à des situations passées. Le RETEX permet l'enrichissement des connaissances de l'entreprise. Cet enrichissement repose pour l'essentiel sur les salariés qui sont amenés à analyser et à formaliser leurs expériences. L'objectif est de capitaliser des expériences individuelles afin qu'elles puissent en faire profiter à l'ensemble des services de l'entreprise. Dans cet objectif, on retrouve les activités du cycle de capitalisation des connaissances, comme : collecter, modéliser, stocker, réutiliser, évaluer et mettre à jour l'expérience.

Le retour d'expérience fait appel à une personne qui transmet ses connaissances et ses savoirs à d'autres personnes. Cependant, cette transmission devient limitée dès lors que la personne n'est plus disponible, voire inaccessible ou qu'elle ne dispose pas des outils nécessaires pour rendre compréhensible ce savoir. Lors des phases de résolution de problèmes, plusieurs individus vont confronter leur savoir propre. Il est alors nécessaire de

pouvoir rassembler ce savoir de chacun afin d'aboutir à la vision commune la plus étendue possible du problème à résoudre. Même si l'on peut déterminer deux champs d'application au retour d'expérience (la résolution de problèmes techniques, et la mémorisation des expériences et faits concernant des projets terminés), celui-ci procure un certain nombre d'avantages, comme :

- Face au départ massif à la mise à la retraite des salariés les plus expérimentés, ou encore face aux mutations et aux licenciements, le RETEX permet aux entreprises de réduire leurs pertes en termes de connaissances et de savoir-faire.
- Le RETEX est une méthodologie d'amélioration de la prise de décision. Il valorise l'ensemble des connaissances impliquant tous les acteurs de l'organisation, dans le but de faciliter la prise de décision. Ainsi, les connaissances présentes dans l'entreprise seront facilement accessibles, ce qui permettra de prendre des décisions rapides et pertinentes à tous les niveaux de l'organisation.
- Avec la réduction du temps d'utilisation des produits, les entreprises doivent accélérer le processus d'innovation car « la fenêtre de sortie » d'un produit est de plus en plus réduite. Les entreprises doivent donc mieux utiliser leur savoir-faire pour fabriquer des produits de plus en plus innovants, avec plus de variétés et améliorer les produits existants. L'arrivée tardive d'un produit sur un marché peut engendrer des conséquences dramatiques pour une entreprise.
- Le RETEX permet également aux collaborateurs d'être plus créatifs et d'apporter des solutions plus innovantes. Ce paradoxe a déjà été relevé par Bienaymé [Bienaymé, 1994] qui affirme « que l'on ne peut pas innover sans se souvenir ». L'innovation peut être considérée comme un processus cognitif impliquant l'émergence de nouveaux modes de raisonnement et de nouvelles perceptions des objets. Cette émergence serait facilitée parfois quand les connaissances de base sont précisées et accessibles. Les collaborateurs sont alors plus autonomes et sont ainsi plus dynamiques et prompts à faire face à des situations complexes.
- Fortes de leur expérience acquise, les entreprises peuvent mieux percevoir les demandes des clients et les besoins du marché. Le gain en compétitivité est plus fort face à la concurrence.
- Les investissements dans le secteur des ressources humaines est plus efficace. La capitalisation des connaissances permet une meilleure identification des expertises présentes dans l'entreprise et également une mise en avant des compétences particulières à acquérir. Autrement dit, les entreprises pourront ainsi recruter des personnes spécialisées avec des connaissances bien précises.

- Enfin, une gestion plus efficace des clients permet aux entreprises de porter une attention plus grande à l'amélioration du fonctionnement de leur Service Après Vente (SAV). La résolution des problèmes courants ou des pannes devient alors plus facile.

Ces effets sont autant de raisons potentielles pour que les entreprises pensent davantage à préserver et à capitaliser leurs connaissances, leur savoir-faire et leurs expertises¹.

Face à cette problématique industrielle et sociétale (par exemple le cas du secteur de la santé²), la recherche s'intéresse donc aux méthodes permettant de piloter les retours d'expérience. Parmi ces méthodes développées ou adaptées dans le cadre de l'ingénierie des connaissances, nous avons fait le choix de nous centrer sur le principe du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) dans le cadre de nos travaux de recherche. Ce choix sera justifié dans le cadre de ce mémoire.

L'approche du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC)³ ou *Case-Based Reasoning* (CBR) a été développée dans les champs de la psychologie cognitive et de l'intelligence artificielle. Le RàPC consiste à utiliser les solutions de problèmes antérieurs pour résoudre de nouveaux problèmes (appelés nouveaux cas). Un cas représente l'ensemble « problème-solution ». Un *cas source* est un ensemble « problème-solution » déjà validé et qui est placé dans la base de cas. Le *cas cible* est le problème à résoudre.

Les principales étapes du RàPC sont les suivantes :

- La **remémoration** (*retrieve en anglais*). Elle a pour objectif de rechercher et trouver des cas sources similaires à partir d'une base de cas (ensemble des cas sources) pour résoudre un cas cible. La remémoration commence par une description (partielle) du problème et se termine une fois trouvée une adéquation avec un cas antérieur. Les sous-tâches liées à la remémoration consistent en l'exécution des différentes étapes dans l'ordre suivant: identification des caractéristiques, recherche de l'adéquation, sélection [Aamodt et al., 94].
- La **réutilisation** (*reuse*). Elle consiste à résoudre ce problème cible en se basant sur les problèmes sources remémorés.

¹ Nous fixons notre vocabulaire d'après les définitions suivantes : Selon le dictionnaire Le Robert, **connaissances** est « le fait ou la manière de connaître », **savoir-faire** : représente « l'habileté à résoudre les problèmes pratiques ; compétence, expérience dans l'exercice d'une activité artistique ou intellectuelle » et **l'expertise** consiste à « la mesure par laquelle des experts sont chargés de procéder à un examen technique (pendant l'instruction d'un procès) » (Dictionnaire Le Robert, 2000).

² Dans le cas de secteur de la santé nous pouvons citer le projet SKOOB (Structuring Knowledge with Object Oriented Bayesian nets), un projet national, et financé par ANR (Agence Nationale de la recherche) auquel participé notre laboratoire ERPI. Le but de ce projet est de créer un logiciel pour la modélisation et la formalisation des connaissances des experts (par exemple : des médecins ou des pharmaciens) ainsi qu'un réseau d'information et de connaissance.

³ RàPC ou CBR, dans notre recherche nous privilégierons le terme français ainsi que son acronyme.

- La **révision** (*revise*). Elle consiste à proposer, modifier et confirmer une solution.
- Enfin, la **mémorisation** (*retain*). Elle représente la validation du cas résolu et son stockage dans la base de cas sources pour une réutilisation ultérieure.

Dans l'approche traditionnelle du RàPC, un problème doit être complètement décrit avant que débute la recherche dans la base de cas. Toutefois, pour certains domaines comme le service à la clientèle, il est difficile de déterminer à l'avance le problème, surtout pour les usagers novices du RàPC. Ainsi, le RàPC Conversationnel¹ (RàPCC) mise sur l'interaction entre l'utilisateur et le système à résoudre pour définir progressivement le problème à résoudre et pour sélectionner les solutions les plus appropriées. Trois étapes sont nécessaires : brève **description textuelle** du problème, **une série de questions et de réponses** pour mieux définir le problème, et **une action sous forme de description textuelle de la solution** à mettre en œuvre pour ce problème.

L'approche du RàPCC est une réponse potentielle à la problématique de la capitalisation et de la réutilisation des connaissances métier. Elle permet à l'entreprise d'utiliser ses savoirs et savoir-faire antérieurs à partir d'une base de cas. La mémoire d'entreprise² va servir de base de cas et permettre à l'entreprise d'éviter de reproduire des erreurs commise par le passé et de résoudre des problèmes déjà résolus antérieurement.

Parmi les avantages listés ci-dessus, nous posons la question suivante : Comment une entreprise peut-elle mieux gérer la gestion des pannes machines de ses clients en prenant mieux en compte le retour d'expérience des experts du service-après vente ? Ainsi, la problématique industrielle que nous avons traité relève des éléments suivants :

- Comment connaître de manière très détaillée l'ensemble de problèmes techniques rencontrés quotidiennement par un client utilisateur ?
- Comment se baser sur la personne qui va directement intervenir sur le problème pour collecter les données relatives aux atouts et faiblesses des produits ?
- Comment capitaliser les connaissances (suite à des observations de terrain) auprès de personnes qui n'ont pas toujours le savoir pour interpréter les faits auxquels elles sont confrontées (analyses cause/effet pas toujours réalisée)

¹ Conversational Case-Based Reasoning (CCBR)

² Selon Nada Matta [Mata., 2008] « *La mémoire d'entreprise est basée sur le recueil et la modélisation explicite des connaissances des experts ou spécialistes de l'entreprise. L'objectif d'une mémoire d'entreprise recherche moins à automatiser une résolution automatique des tâches mais plus à aider l'utilisateur en lui mettant à sa disposition des informations concernant l'entreprise. Cette mémoire permettra d'aider l'utilisateur en lui fournissant des informations appropriées tout en lui laissant la responsabilité d'une interprétation et d'une évaluation de ces informations.* »

- Se placer dans un contexte de grande diversité des problèmes à résoudre et donc des aptitudes nécessaires aux interventions.
- Transférer des connaissances sur des métiers peu formalisés. Ceci intègre le fait de former des personnes dont l'efficacité et les performances sont inférieurs à leurs collègues.
- Comment affecter les tâches les plus complexes à réaliser aux personnes ayant la plus grande expertise ?
- Réduire le temps de formation des personnes affectées au SAV.
- Se placer dans une situation qui nécessite en terme d'interventions des connaissances dans différents domaines (exemple : mécanique, électrique, automatique). Dans le cas général, plusieurs experts interviennent pour résoudre le problème. L'entreprise cherche à mobiliser des personnes polyvalentes aptes à traiter chaque domaine.
- Se placer dans le cas de machines à longue durée de vie. Ainsi la capitalisation des connaissances a un impact sur la continuité de service de bon niveau auprès du client. L'évolution du personnel pourrait en effet diminuer la capacité à maîtriser des anciennes machines.
- L'entreprise souhaite également capitaliser des domaines concernant la mise en œuvre de nouveaux produits (ou modules) afin de compléter les essais déjà réalisés avant lancement.
- Réduire le temps de résolution de problème
- Avoir une analyse de la panne plus rapide,

Nous nous plaçons dans le champ de RETEX appliqué à la résolution de problèmes. Nous avons cherché au niveau scientifique à mieux comprendre les processus d'expression des experts et ainsi à proposer des approches particulières de collecte des données issues de l'expérience. Les liens entre les objectifs de la capitalisation et le mode de collecte des données à capitaliser ne sont pas décrits dans la littérature. Notre travail relève donc à la fois :

D'une recherche de type empirique : nous avons contribué à une meilleure compréhension des phénomènes réels en entreprise relativement à la collecte des données (phase amont du RETEX). Ceci permet de mieux appréhender les intérêts et limites méthodologies actuelles (RàPC, RàPCC).

D'une recherche méthodologique : nous avons élaboré des approches qui permettent de mieux « extraire » l'expérience en fonction des objectifs de l'entreprise, et surtout, en intégrant le RETEX aux méthodes de résolution de problèmes mis en œuvre dans le système industriel étudié (arbre de défaillances).

Cadre général de la recherche

Nos travaux de recherche ont été réalisés dans le cadre d'une convention de recherche Région Lorraine avec une entreprise vosgienne. Elle est spécialisée dans la conception et la fabrication de machines-outils à commande numérique pour le travail des fils, tubes et feuillards métalliques. Le SAV de cette entreprise compte sur les expériences et des connaissances de ces employés pour dépanner des clients. Cependant, l'entreprise a conscience que ces connaissances et savoir-faire disparaîtra si l'un de ces employés (notamment les employés plus expérimentés) quittent l'entreprise. L'orientation vers la mise en place d'une gestion collective des connaissances est devenue un enjeu important pour cette entreprise. L'entreprise désire d'une part, mieux exploiter sa base de retour d'expérience des dépannages sur des machines livrées chez ses clients. D'autre part, elle souhaite améliorer la qualité de son service. De plus en plus, les clients souhaitent avoir de meilleures qualités de service après vente pendant la durée de vie de leur produit.

Plan du mémoire

Notre mémoire est organisé en cinq chapitres. Dans le **premier chapitre**, nous exposons le contexte industriel et les pratiques industrielles actuelles ainsi qu'un état de l'art sur le retour d'expérience. Nous serons amenés à détailler les concepts de connaissances, d'expérience et de retour d'expérience. Nous avons expliqué le cycle de vie de connaissances dans une entreprise pour montrer l'évolution de la connaissance. Enfin nous établirons un lien entre apprentissage et retour d'expérience. Nous avons à la fin expliqué les principales contributions de nos travaux de recherche.

Dans le **deuxième chapitre**, nous présenterons le RàPC de manière générale et de point de vue de différents auteurs. Nous expliquerons le cycle du raisonnement à partir de cas en détaillant ses étapes et les tâches qui doivent réaliser dans chaque étape. Ceci nous permet de mieux apercevoir le fonctionnement général du RàPC. Nous expliquerons la relation du RàPC avec l'innovation. En fin, nous présenterons les modèles du RàPC.

Dans le **troisième chapitre** aborde la description et l'état de l'art de RàPCC et les raisons que nous avons le privilégiés par rapport aux deux autres modèles. Nous expliquerons quelles sont les tâches à réaliser en RàPCC et quelles relations sémantiques existent-t-il entre les questions en RàPCC. Ensuite, nous expliquerons le diagnostic industriel et le RàPCC.

Nous allons border les différents diagnostics et leurs classifications. Une étude comparative est effectuée entre les différents systèmes du RàPC et RàPCC dans le domaine de diagnostic.

Dans le **chapitre quatre**, nous expliquerons la méthodologie que nous proposons dans nos études. Nous explicitons ensuite notre démarche de développement d'un système d'aide au diagnostic en quatre étapes. Nous détaillerons les étapes de la formalisation des connaissances tacite selon notre proposition. Nous proposerons finalement les principes d'une maquette informatique.

Le **chapitre cinq** est consacré à notre application industrielle où nous intégrons notre proposition. Nous décrivons notre démarche de proposition d'implantation d'un système de retours d'expérience pour le SAV d'une entreprise. À la fin de ce chapitre nous présenterons notre proposition sous forme une maquette que nous avons proposée à l'entreprise. Finalement, nous présenterons la conclusion générale et les perspectives de nos travaux.

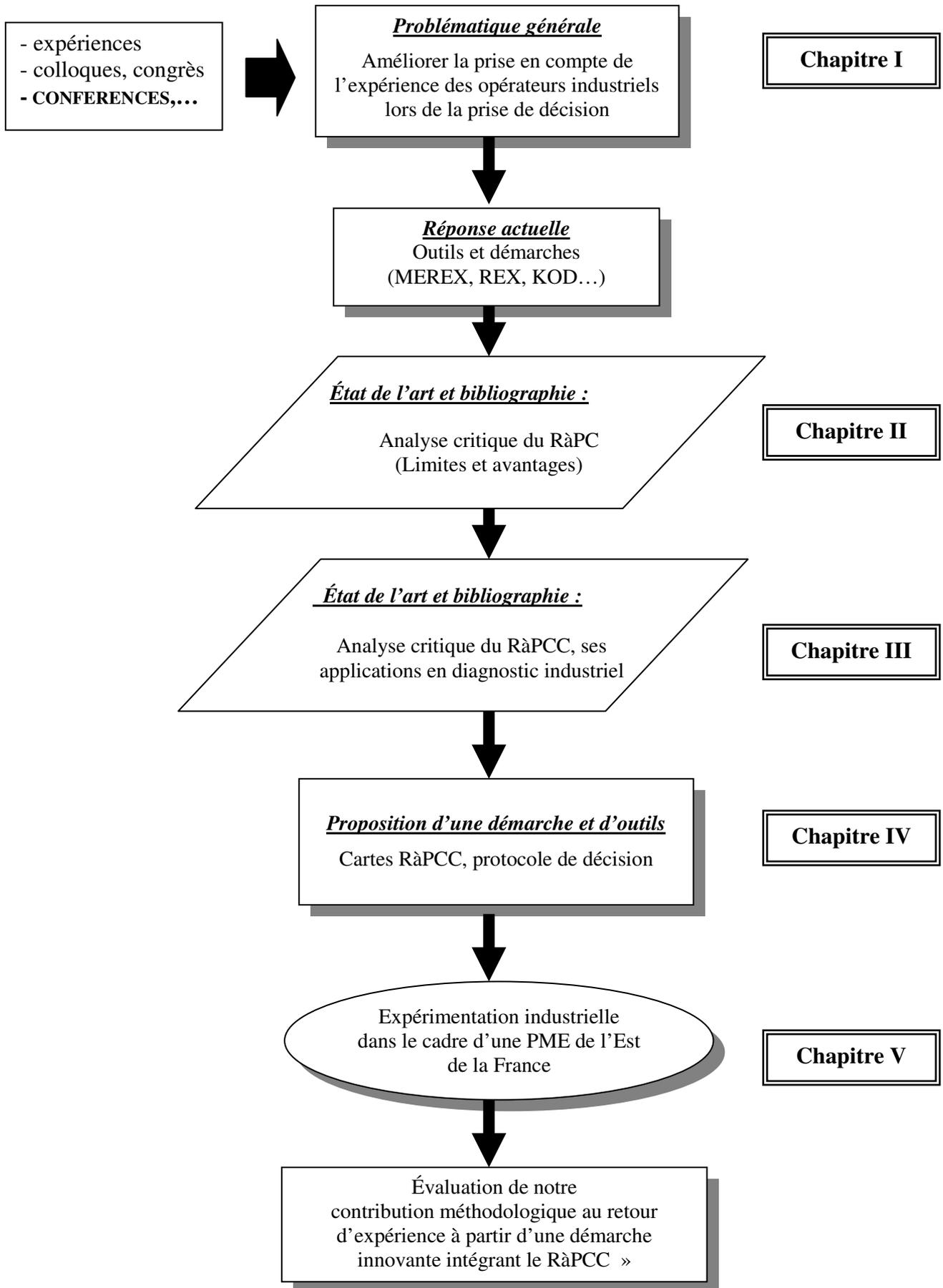


Figure 1. Démarche scientifique de notre recherche

CHAPITRE 1 :
EXPERIENCE ET RETOUR D'EXPERIENCE :
PROBLEMATIQUE GENERALE

1.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons le contexte industriel et un état de l'art sur le problème de la gestion des connaissances et du retour d'expérience dans les grandes entreprises ainsi que les démarches et les méthodes utilisées actuellement dans ces entreprises. Nous présenterons quelques définitions : la connaissance, l'expérience et le retour d'expérience selon nombreux point de vue. Nous expliquerons le cycle de vie de connaissances dans une entreprise pour montrer l'évolution de la connaissance. Ainsi nous présenterons le cycle de retour d'expérience afin de préciser comment les connaissances peuvent être formalisées. Le cycle du retour d'expérience nous permet de définir la nécessité de la mémoire d'entreprise pour garder l'ensemble des connaissances et savoir-faire des acteurs d'entreprise. Nous ensuite expliquerons le lien entre le RETEX et l'apprentissage afin de préciser l'évolution de l'apprentissage dans une organisation. Nous expliquerons à la fin les principales contributions de nos travaux de recherche.

1.2. Contexte industriel et problématique sociétale

Depuis quelques années, les entreprises s'investissent de plus en plus au domaine de la capitalisation et de la gestion des connaissances. L'enjeu est devenu crucial pour ces entreprises, il s'agit de convaincre leur personnel de l'intérêt de capitaliser et d'échanger leur connaissances et savoir-faire dans un but de la rendre pérenne et afin d'accroître la compétitivité de l'entreprise.

Selon une étude de « The Conference Board European Council on Knowledge Management », la majorité des entreprises utilise des programmes de gestion de connaissance et la plupart d'entre elles disent qu'elles vont augmenter cet effort au cours des cinq prochaines années. Cette étude, basée sur une enquête, est parrainé par Price Waterhouse Coopers comprenant plus de 150 dirigeants de 96 grandes entreprises (83% des États-Unis, 14% Europe, 3% Asie/Pacifique). 82% des entreprises interrogées ont déclarées qu'elles sont impliquées dans des activités gestion des connaissances [Ergazakis et al., 2002].

Le frein principal à cette capitalisation des connaissances pour les entreprises reste celui de retour sur investissement, c'est-à-dire prouver le gain pour l'entreprise. Selon l'étude du cabinet de conseil KPMG - *Gestion des connaissances en Europe (2003)*, les entreprises européennes déclarent dépenser moins de 2% de leur chiffre d'affaire dans le management des connaissances. Pour les deux tiers des entreprises interrogées, elles n'arrivent pas à quantifier le retour sur cet investissement [Perrin, 2004a]. Comme en témoignent les responsables

informatiques des grandes entreprises françaises, membres du CIGREF¹, les projets de management de connaissances ont relevé jusqu'ici plus du pari que de l'investissement réfléchi [CIGREF, 2000].

L'implantation d'un processus de RETEX s'appuie sur le développement d'un système de gestion de connaissances [Kamsu et al., 2008]. Dans la littérature, généralement, il n'y a pas de différenciation entre le retour d'expérience et la gestion des connaissances. Souvent le RETEX est remplacé par des termes de la gestion des connaissances ou knowledge management. A partir de la littérature, nous présentons quelques entreprises connues mondialement qui ont travaillé sur la gestion des connaissances :

L'entreprise SIEMENS a mise en place le logiciel « ShareNet » au sein de son système. Albert Goller, directeur du centre e-business de Siemens, résume cette stratégie : « *Notre objectif est de construire un réseau étroit de toutes les connaissances et de toutes les expertises de Siemens. Par le passé nous avons eu de grandes difficultés à identifier le savoir-faire dans l'entreprise. Les employés peuvent donc accéder à leurs besoins de connaissances en appuyant sur un bouton, grâce à ShareNet ! Ainsi, un ingénieur de Siemens travaillant sur un projet de développement de moteur à Berlin peut faire appel à l'expérience de son collègue au Canada. Par le passé, ce genre d'information restait bloqué en transit* [Davenport & Probst, 2000] ».

La stratégie relève avant tout d'une utilisation optimale des récits de l'entreprise afin de promouvoir les *meilleures pratiques* réalisées dans le groupe. Par exemple, tous les employés de la branche télécommunication sont au courant de l'équipe commerciale Malaisienne qui a gagné un appel d'offres important grâce au logiciel *ShareNet*, un logiciel collaboratif mis en place dans cette branche. Avec *ShareNet*, Siemens a réussi à valoriser les pratiques et les usages des employés en diffusant des *anecdotes et des histoires* auxquels chacun peut se raccrocher. La principale limite de ce système est son coût car il exige la mise en place d'une équipe importante de modérateurs qui rétribuent effectivement les utilisateurs [Perrin, 2004b].

Une autre entreprise, Hewlett Packard (HP), s'est interrogé sur les méthodes de RETEX. C'est un système de micro-paiement qui garantit une juste rétribution du partage d'information. L'idée de Hewlett Packard est de développer un système de paiement électronique pour tout téléchargement de documents ou consultation de fichiers. Le prix de ce service, peu élevé, serait versé au département ayant fourni l'information, qu'elle émane d'une équipe ou d'un individu. Les services de *Hewlett Packard* ont accepté de payer ce prix car la structure très décentralisée du groupe obligeait chaque unité à payer

¹ Club Informatique des GRandes Entreprise Françaises, créé en 1970, il se définit selon ses propres termes comme regroupant plus de cent très grandes entreprises et organismes français et européens de tous les secteurs d'activité (banque, assurance, énergie, distribution, industrie, service, ...)

une somme fixe d'utilisation des services d'information quelle que soit la fréquence d'utilisation. Plus de 90 000 employés se sont vu attribuer une carte de crédit, la NetCard qui retrace les achats et les consultations des propriétaires. Ce système permet de suivre budgétairement la consolidation des comptes entre les filiales du groupe. Les dépenses peuvent s'enregistrer transaction par transaction ou sous forme de forfait, procurant dans ce cas aux abonnés un droit d'accès illimité pendant une période définie [Bukowitz & Williams, 2000]. Grâce à cette méthode, l'apport économique de la contribution sur le réseau est directement quantifiable et permet de justifier le temps passé à documenter ces contributions.

En France, l'entreprise Alstom s'est intéressée il y a quelques années à la mise en place de concepts de retour d'expérience dans le cadre de travaux de thèse recherche [Rakoto, 2004]. Les projets de RETEX dans cette entreprise sont portés par le département qualité pour faire face aux changements rapides de l'environnement d'Alstom : nouveaux clients, nouvelles demandes en termes de résultats économiques, protection de l'environnement et nouvelle technologie. Dans leur programme de qualité, Alstom engage toutes ses ressources pour garantir à ses clients un haut niveau de qualité visant à réduire tout type de non-conformité de 20% par an. Dans le cadre du projet RETEX, deux orientations ont été prises :

- Design For Quality, un processus de conception dont la structure favorise la capitalisation et l'exploitation du RETEX,
- 6 Sigma, une méthodologie de caractérisation puis d'optimisation des processus et la création de connaissances dans le RETEX.

Dans ces travaux, l'auteur a mis en place des fiches de retour d'expériences qui permettent de consigner les résultats des activités conduites. Des difficultés subsistent : les utilisateurs du système ne structurent pas leur démarche de traitement par rapport à celle de préconisée. La gestion électronique des documents est difficile à utiliser.

Depuis quelques années, l'objectif prioritaire d'Air France en matière de prévention des accidents, est la conduite d'un système cohérent de retour d'expérience, adapté à la culture d'entreprise et à la nature des risques encourus. Une démarche de retour d'expérience a donc été mise en place au sein du Service Prévention et Sécurité des vols, Assurance Qualité Exploitation (au sein de la Direction de la Qualité et de la Sécurité) [Courville, 2000]. Ce service ne traite pas la partie maintenance, mais la partie exploitation, c'est-à-dire, les événements qui se sont produits sur des avions en bon état. Différents canaux de remontée et de traitement des informations ont été mis en place de façon à obtenir le maximum d'informations possible :

Les Air Safety Reports (ASR). Ils sont renseignés par les membres d'équipage qui rapportent les événements ayant ou pouvant avoir un lien avec un scénario d'accident. Ce type de retour d'expérience, associé à une base informatique permet de réaliser le suivi avec une base de données exploitée en réseau.

Le Quick Access Recorder (QAR). Le QAR est un dispositif de surveillance qui enregistre de manière systématique les paramètres du vol. Ainsi, les anomalies opérationnelles les plus significatives sont automatiquement détectées. Le QAR est un support objectif avec des mesures réelles, ce qui permet de réaliser des analyses statistiques.

Les rapports spontanés confidentiels (Rex). Chaque membre d'équipage a la possibilité de partager son expérience sur une situation vécue en utilisant un support confidentiel. Ce canal permet de recueillir les aspects non visibles des événements et notamment ceux relatifs au facteur humain. Il complète ainsi les canaux ASR et QAR.

Les sondages ponctuels. Des sondages ponctuels, des questionnaires portant sur des points précis, pour lesquels il n'y a pas de remontée d'informations, sont envoyés aux équipages. L'avantage de ce canal est de traiter les événements à faible visibilité.

L'originalité du système d'Air France réside dans la mise en place de différents canaux de remontée de l'information. Ils permettent de couvrir de façon assez complète les événements. La saisie, lors du stockage des informations, est généralement réalisée de façon manuelle, sur des supports mis à la disposition des équipages. La plupart des canaux utilisés dépendent directement de la volonté des équipages. La qualité et la quantité des informations sont alors difficilement garanties.

La maîtrise de la qualité et la rapidité de renouvellement des produits amènent l'entreprise à tirer profit de l'expérience des salariés et décideurs industriels. La réponse pour l'entreprise est de valoriser son *patrimoine immatériel* dans lequel la connaissance est considérée comme une richesse majeure. Les expériences des collaborateurs de l'entreprise sont devenues de plus en plus précieuses et recherchées par les services de recherche développement, les bureaux d'études... . C'est pourquoi le retour d'expérience d'une entreprise est devenu un des vecteurs importants de la «gestion des connaissances». Au cours de ces dernières années, la capitalisation des connaissances, savoir, savoir-faire et leur réutilisation est devenue un des éléments importants de développement pour les entreprises.

Les entreprises sont confrontées à des exigences plus en plus difficile à satisfaire des clients toujours plus exigeants, ce qui impose une diminution des coûts et des délais, une amélioration dans la qualité de leurs produits et également leurs service après vente. Les objectifs des industriels sont de mieux valoriser le capital des connaissances des entreprises

qui sont considérée aujourd'hui comme un réel capital qui est disponible dans les différentes fonctions d'une entreprise : recherche et développement, conception, production, service après vente... .

Les exigences des normes en vigueur, telle que la série ISO 9000, poussent les organisations et les entreprises à capitaliser leurs connaissances et leurs expériences pour améliorer leurs processus afin de satisfaire au mieux les besoins de leurs clients [Rakoto, 2004].

Nous présentons certains aspects qui peuvent amener les entreprises à développer des démarches de capitalisation des connaissances [Pourcel et Stock, 2004] :

- Standardiser et maîtriser les performances des processus. Une démarche de formalisation des connaissances est un moyen pour remettre en cause, et ainsi améliorer les performances de certains processus. Cette standardisation doit permettre de définir des méthodologies et un langage métier commun.
- Développer une dynamique d'innovation. Une démarche de gestion des connaissances doit permettre d'élargir le champ de connaissances disponibles et de mieux les exploiter pour favoriser la mise en place de processus innovants.
- Pérenniser les connaissances cruciales de l'entreprise et éviter les pertes de savoir-faire suite aux départs d'experts.

1.3. Quelques définitions

Il est nécessaire en préalable à tout développement sur ce thème de présenter les définitions des termes clés que nous utiliserons car la littérature est parfois imprécise dans ce domaine. Nous définirons donc les notions de *connaissances*, *expérience* et *retour d'expérience*.

Connaissance

Les connaissances ne sont pas directement accessibles en tant que telles. Nous n'en percevons qu'une représentation sous forme de signes (image, texte, son, diagramme...) qui participent à un processus de communication entre individus. Un signe s'observe selon trois points de vue : le signifiant ou symbole, relatif à la syntaxe ou conception technique du signe, le signifié ou concept relatif à la conception sémantique ou signe, et le référent (c'est-à-dire l'objet désigné par le signe), relatif à la conception pragmatique du signe [Daniel Le Bozec, 2001].

Les connaissances « font partie du patrimoine cognitif du sujet », car elles lui appartiennent en s'articulant autour de ressources affectives, sociales ou encore contextuelles. Ces connaissances sont déterminées par leur dimension sociale et leur dimension culturelle. Elles sont issues des pratiques sociales de référence. Pour Glasersfeld [Glasersfeld, 1994], les connaissances répondent à quatre caractéristiques :

- Les connaissances sont construites et non transmises
- Elles sont temporairement viables (non définies une fois pour toutes)
- Elles nécessitent une pratique réflexible (ne sont pas admises comme telles sans remise en cause)
- Elles sont situés dans des contextes et des situations (et non décontextualisées).

Selon Jonnaert [Jonnaert, 2002], les savoirs « codifiés » sont élaborés par des spécialistes disciplinaires, ces savoirs sont déterminés par leur dimension sociale et leur dimension culturelle. Ils sont issus « des pratiques sociales de référence ». Deux types de connaissances co-existent :

Les connaissances explicites sont des connaissances produites par les réseaux d'acteurs de la connaissance qui peuvent être converties en informations (par la fonction d'externalisation¹). Les *connaissances tacites* sont des connaissances produites par les réseaux d'acteur qui ne sont pas de type explicite. L'expérience montre que toute connaissance n'est pas explicitable [Ermine, 2008].

La connaissance tacite est la connaissance que possèdent les individus. Ce sont les expériences acquises des individus au cours de leur activité dans l'entreprise. Elle n'est pas formalisée et difficilement transmissible car souvent relative au vécu personnel. La *connaissance explicite*, contrairement aux connaissances tacites est formalisée et transmissible sous forme de documents réutilisables. Ce sont les informations concernant les processus, les projets, les clients, les fournisseurs... (tableau 1).

Chebel Morello [Chebel Morello, 2008] et Grundstein [Grundstein, 2000], distinguent trois types de connaissances à gérer :

- *Le savoir de l'entreprise et de ses employés*, il correspond aux connaissances explicites,
- *Le savoir-faire*, il représente la connaissance de la résolution des problèmes, des procédures, des stratégies, du contrôle des actions, des expériences individuelles et d'organisation et qui a plutôt un caractère tacite,

¹ Ce terme sera expliqué dans le § 1.4

- **Le savoir individuel et collectif** : le savoir ou le savoir-faire collectif d'une organisation représente la valorisation stratégique des connaissances individuelles au service d'un groupe ou communauté.

| | Connaissance tacite | Connaissances explicite |
|-------------------------|--|--|
| Nature | Subjective | Objective |
| | Présent | Passé |
| | Connaissance personnelle et dépendante du contexte | Connaissance formalisée, explicable ou non adaptative |
| | | Connaissance créée pour communiquer avec les autres personnes |
| Localisation | Dans le cerveau des individus | Répartie dans l'entreprise (base de données, base de documentaire, etc.) |
| Forme | Non formalisée | Documents électroniques ou physiques |
| Transmission | Difficile | facile |
| | Transmise par apprentissage | Transmission par échange de documents |
| Mode de création | Acquise par la pratique, l'expérience, le vécu | Interprétation d'information et formalisation de connaissance tacite, Fortement marquée par les circonstances de leur création |

Tableau 1. Tableau comparatif entre la connaissance tacite et la connaissance explicite

[Source : Balmisse, 2002]

Expérience

Le mot expérience vient du latin « experientia » qui signifie « *faire l'essai de* ». Selon Aubret & Gilbert [Aubret & Gilbert, 2003], l'*Expérience* désigne conjointement des pratiques (activités concrètes) et les effets qu'elle engendre sur les individus et les groupes sociaux. Les pratiques sont la partie visible de l'expérience, ce qui est observable et objectivable. Cependant, ce qui résulte de l'expérience peut être tout aussi bien de l'ordre de la conscience spontanée, du ressenti, que le produit d'une analyse ou d'une interprétation. Le décodage et la notion d'expérience est complexe dès l'instant que l'on cherche à comprendre les relations entre les pratiques et leurs effets.

Chebel Morello [Chebel Morello, 2008] complète les définitions suivantes de l'expérience : l'expérience est l'erreur et la piste de la résolution de problèmes, tirer des leçons, enseignement personnel, amélioration de ses connaissances, partage de son expertise, transmission d'une pratique.

«Avoir de l'expérience», «il est demandé de l'expérience», «validation de l'expérience»... sont autant d'attributs professionnels permettant à quelqu'un de s'identifier par rapport aux autres ou de s'insérer dans la vie professionnelle. L'expérience est devenue un

élément de valorisation des personnes et maintenant des organisations. L'expérience peut être capitalisée par le « *retour d'expérience* ». On peut agir sur la durée de l'expérience, sa nature et ses contenus. L'expérience est productrice de connaissances, elle ne l'est pas de toutes les connaissances. Elle est surtout porteuse de savoir-pratique. Selon Maret et Pinon [Maret & Pinon, 1997], savoir et savoir-faire sont les deux aspects indissociables de la connaissance. Tant qu'ils ne sont pas maîtrisés, ils constituent un capital fragile car ils ne sont ni partageables, ni persistants, c'est à dire non réutilisables en l'absence de leur détenteur. La capitalisation des connaissances suppose une phase d'apprentissage arrivait à terme.

A travers l'ensemble de ces définitions, l'acquisition de l'expérience s'enrichit au cours du temps et par la pratique (essai et erreur). La connaissance résulte de l'apport des expériences acquises, quelles soient positives ou négatives. Autrement dit, donner une signification ou une explication à un acte fait (expérience) ou un contexte pour en tirer des leçons. Nous pouvons donc dire que la connaissance est le fruit et le résultat de l'expérience.

Retour d'expérience

Il existe différents travaux et plusieurs expressions concernant le retour d'expérience dans la littérature. En France, le terme de *RETour d'EXpérience (RETEX)* est le plus connu et utilisé dans le monde industriel. Il l'est beaucoup moins utilisé dans le domaine de la recherche. Nous utiliserons ce terme dans ce mémoire. Dans les littératures anglophones, nous pouvons lire les termes comme: *Expérience Feedback (EF)*, ou *Experience Management (EM)* (Gestion des expériences) ou *Lesson Learned (LL)* (leçon acquises). L'expression de *Knowledge Management (KM)* (management des connaissances ou Gestion des Connaissances (GC)) est un terme plus général qui également prend en compte la notion du retour d'expérience. Le terme de Knowledge Management est bien familiarisé depuis quelques années en France, mais nous préférons utiliser l'expression française, c'est-à-dire, la *Gestion des connaissances* dans ce mémoire.

Le retour d'expérience est un processus de capitalisation et d'exploitation des connaissances visant essentiellement à transformer la compréhension acquise par l'expérience en connaissance [Kamsu Foguem et al., 2008]. Parmi les différentes définitions du RETEX, Kamsu Foguem [Kamsu Foguem et al., 2008] et Hermosillo [Hermosillo et al., 2005] différencient base de l'expérience et leçons apprises dans la figure 2. Selon ces auteurs, un ensemble des expériences sont acquises et mémorisées, puis sont utilisés pour mise en pratique, appelées leçons apprises.

Le groupement REXAO (Retour d'EXpérience et Apprentissage Organisationnel) est un groupement d'études et de recherches animé par l'école des Mines de Paris. Il donne la définition suivante [Clermont et al., 2007] : « D'une manière générale, le retour d'expérience est un outil de management, utilisé par l'encadrement pour identifier les causes de

dysfonctionnement par l'analyse des faits (séance de débriefing, interview, etc.) et pour en tirer des leçons (nouvelle consignes, modifications organisationnelles, etc.) ».

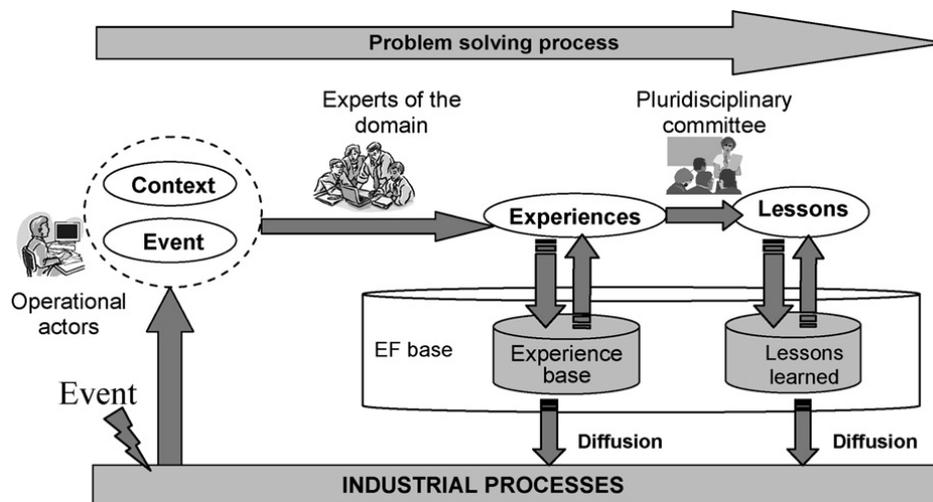


Figure 2. Processus générale de réalisation du retour d'expérience à partir d'un événement [Source : Kamsu Foguem et al., 2008]

Bergmann [Bergmann, 2002] définit le retour d'expérience comme suit : « *Experience Management is a special kind of knowledge management that is restricted to experience knowledge* ». ... « *Experience Feedback is a knowledge management initiative which objective is to convey experiential knowledge or lessons learned applicable to an operational, tactical, or strategic level such that, when reused, this knowledge positively impacts on the results of the organization* ».

Selon Minor [Minor, 2006] « *Experience knowledge (also called experiential knowledge) origins from the experience of an agent in a previous problem solving situation.* »

Selon Weber [Weber et al., 2000], le processus de retour d'expérience correspond à la définition suivante: « *Lessons learned (LL) processes are knowledge management (KM) solutions for sharing and reusing knowledge gained through experience (i.e. lessons) among an organization's members* ».

Ainsi, le retour d'expérience est un enjeu majeur des entreprises apprenantes d'aujourd'hui : capitaliser des expériences et des savoir-faire des individus afin de pouvoir les utiliser et les partager ultérieurement. Selon Lebeau et Vinals [Lebeau & Vinals, 2006], une entreprise apprenante, c'est une entreprise qui est en mesure de valoriser le savoir qui lui vient de l'extérieur et qui est capable de revaloriser les savoirs qui sont produits ou disponibles à l'interne afin de générer sans cesse des innovations de produits, de procédés, de commercialisation ou encore, des innovations organisationnelles. La mutation des entreprises entraîne un renouvellement accéléré des savoirs, et le bon fonctionnement de l'entreprise repose sur la capacité d'apprentissage de son personnel. Les entreprises doivent progresser en

transformant leurs pratiques par le développement d'une culture apprenante, ce qui permet de garder l'entreprise dans un état permanent d'innovation. Le retour d'expérience permet de faire des économies d'échelle à partir de solutions éprouvées afin d'investir dans les solutions innovantes [Chebel-Morello, 2008]. La formalisation des connaissances, sa communication aux acteurs de l'entreprise et enfin son apprentissage et réutilisation par les ressources humaines, revient à faire évoluer la compétence des acteurs de l'entreprise.

Kretzschmar [Kretzschmar & Thévenot, 1996] définit le retour d'expérience comme une façon de garder *des traces* d'incidents et d'échecs, de leçons apprises, de faits techniques et de rédactions de documents présentant des solutions pratiques de conception.

1.4. Cycle de vie de la connaissance

Le modèle de création des connaissances repose sur la distinction entre le savoir tacite et le savoir explicite¹. Nous nous appuyons sur les travaux de Nonaka et Takeuchi [Nonaka et Takeuchi, 1995] ainsi Balmissse [Balmissse, 2002] pour décrire les processus de création des connaissances. Le cycle de vie de connaissance se divise en deux phases: les *modes de transfert* : socialisation, externalisation, combinaison, internalisation et le *processus de transfert* : environnement, échange, réseaux, apprentissage. Les processus de transfert participent à la création de nouvelle connaissance à partir de différents interactions entre les connaissances tacites et connaissance explicites (figure 3). Quatre modes de transfert est identifiés :

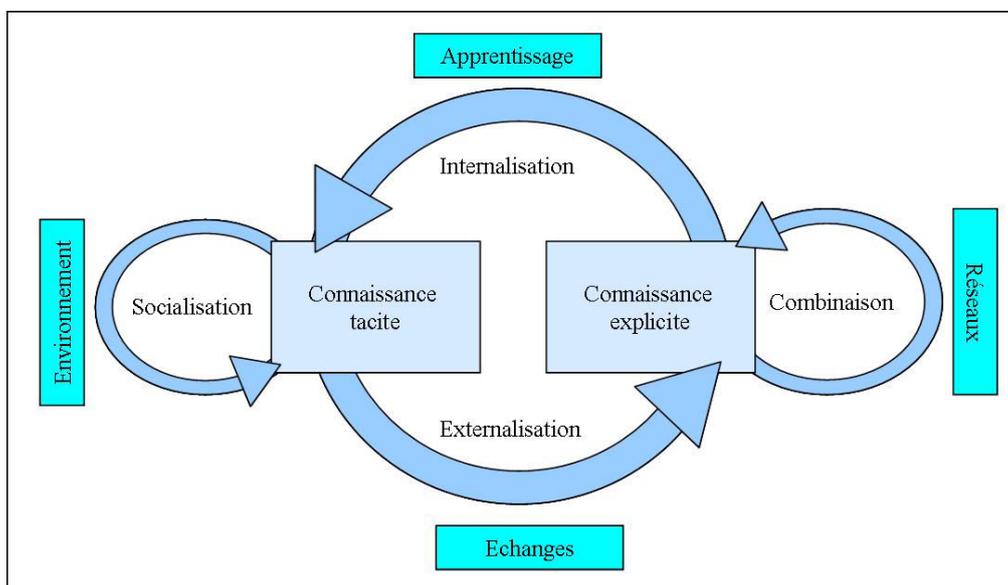


Figure 3. Modes et processus de transfert [Source : inspiré de Balmissse, 2002]

¹ Cette modèle est proposée la première fois par Nonaka et Takeuchi

Socialisation : consiste à la transmission de connaissances tacites vers connaissances tacites. Cette transmission s'effectue par l'observation, et la pratique. C'est l'*environnement* qui favorise le partage et le transfert du savoir-faire. Selon Nonaka et Takeuchi, la clé pour acquérir une connaissance est l'*expérience*.

Externalisation : consiste à la transmission de connaissances tacites en connaissances explicites sous forme de concepts et modèles. L'*échange* réalisé dans le cadre d'un travail exige une *formalisation du travail*.

Combinaison : est la transmission de connaissances explicites vers des connaissances explicites (gestion électronique documentaire). Les *réseaux* sont constitués *de liens* qu'un individu crée entre les différentes connaissances explicites de l'organisation.

Internalisation : consiste à la conversion de connaissances explicites en connaissances tacites. C'est un processus d'apprentissage avec des supports tels que les documents etc. l'*apprentissage* permet à un individu d'acquérir de nouvelles connaissances ou compétences par un processus d'étude ou par expérimentation.

1.5. Le cycle de vie du retour d'expérience

L'expérience est décrite comme un processus d'identification, d'encodage, de stockage et de restitution de connaissances. Le processus cognitif, selon Tarondeau [Tarondeau, 2003], de l'*expérience* peut être représenté par une suite logique d'activités mentales :

- Formulation du problème à résoudre et identification de l'objectif à atteindre,
- Identification des actions à entreprendre et des moyens à mettre en œuvre,
- Évaluation des actions alternatives en fonction de l'objectif fixé et choix de la meilleure solution,
- Mise en œuvre de cette solution et mémorisation de la solution.

Ainsi le RETEX peut être considéré comme un cycle au sens large du terme. Il est constitué d'informations d'origines très diverses, d'opinions d'experts, de rapports d'analyse et d'interprétation, de pratiques de terrain, ces connaissances sont disséminées. Différents auteurs proposent des cycles de gestion de connaissances, comme Grundstein, Rose Dieng, etc. De tous ces cycles, nous en proposons un qui est illustré à la figure 4. Deux grandes phases sont :

- *acquisition et mémorisation* des connaissances tacites et explicites en vue d'être formalisées, (phase 1).

- **réutilisation et adaptation** de ces connaissances mais adaptées aux situations à résoudre, (phase 2).

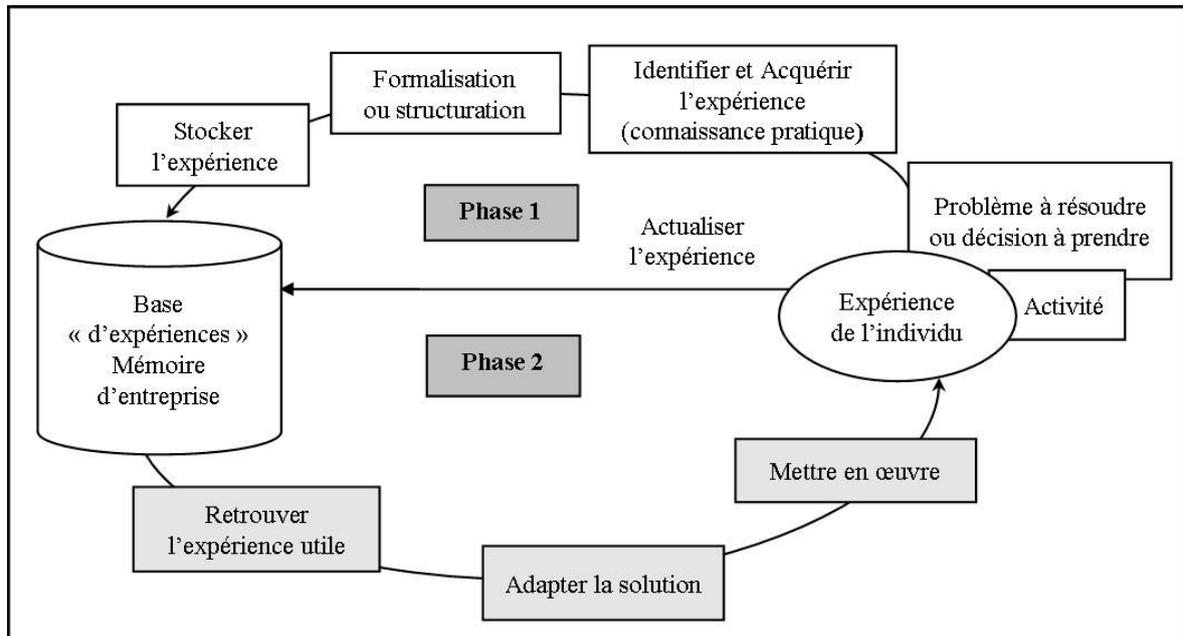


Figure 4. Cycle du retour d'expérience [Source : Notre recherche]

Phase d'acquisition et de mémorisation de l'expérience

- *Identifier et extraire les connaissances ou pratiques « métier ».* L'étape de recueil d'expérience permet d'extraire des connaissances rares, pertinentes, utiles ou clés par observation (IDEX, SADT, FAST...) ou par interrogation de toutes sources de connaissances (systèmes KOD, KADS, MASK...).
- *Formalisation et structuration.* Des modèles sont initiés et utilisés selon l'approche managériale, cognitive ou par ontologie.
- *Mise en mémoire.* Les pratiques, appelés plus loin « cas » vont servir de disposer à tout moment de l'expérience acquise antérieurement en vue de résoudre des nouveaux problèmes. Il s'agit de rassembler les pratiques et savoir-faire sur des supports facilement accessibles, par exemple.

Phase de remémoration et d'adaptation de l'expérience aux problèmes ou situations à résoudre

- *Retrouver* l'expérience utile dans la base « d'expériences »,
- *Adapter* l'expérience au problème à résoudre.

- *Mettre en œuvre la solution issue de la base d'expérience après adaptation.* Garder trace des choix et décisions, échecs et incidents, faits... afin d'enrichir la base «d'expériences».

Parmi des auteurs, un ensemble de démarches issues de l'ingénierie des connaissances, de la mémorisation et de la cartographie des connaissances participent à des niveaux différents dans ce cycle de retour d'expérience.

Nous pouvons définir deux types de retour d'expérience : le « *retour d'expérience positive* » et le « *retour d'expérience négative* ». Les connaissances constituent le retour d'expérience positive, le savoir-faire qu'il convient de préserver et mémoriser le savoir-faire comprend le savoir concevoir, le savoir fabriquer, le savoir exploiter, le savoir maintenir... . Les défaillances sur les matériels et les incidents sur les installations au domaine font partie de retour d'expérience négative [Lannoy & Procaccia, 1994].

1.6. Mémoire d'entreprise ou mémoire de connaissances : pourquoi faire ?

Une mémoire d'entreprise est définie comme la représentation explicite et persistante des connaissances dans une entreprise. L'objectif d'une mémoire d'entreprise recherche moins à automatiser une résolution automatique des tâches mais plus à aider l'utilisateur en lui mettant à sa disposition des informations concernant l'entreprise. A titre d'exemple, une mémoire métier est l'explicitation des connaissances produites dans et pour un métier donné. Elle représente la résolution de problèmes dans une activité donnée. La technique d'ingénierie des connaissances permet la formalisation de ce type de mémoire. Les approches telles que MASK, CommonKADS ou KOD utilisent des techniques d'ingénierie des connaissances pour extraire les connaissances [Matta, 2008].

Le but de la mémoire d'entreprise est de rendre facilement accessible, le partage et la réutilisation par les membres de l'entreprise de certaines connaissances cruciales de l'entreprise. La mémoire doit être évolutive et modifiable au fur et à mesure de l'évolution des connaissances dans l'entreprise. La mise en place d'une mémoire d'entreprise comprend plusieurs étapes [Dieng-Kuntz, 2001] :

- *Dans la première étape*, il faudra d'abord détecter des besoins de l'entreprise : au niveau de des utilisateurs potentiels de la mémoire, les besoins en matière de recherche d'information dans les quotidiens, quand et dans quel contexte un expert consulte la mémoire, les connaissances expérimentales et professionnelles des experts,
- *En deuxième étape*, pour la construction d'une mémoire il faudra évaluer les sources disponibles dans l'entreprise : les documents semi-structuré ou structuré comme les

rapports synthèse sur un projet, et les possibilités de les réutiliser, la disponibilité des experts...

- **La troisième étape** est la diffusion et la mise en place de ces connaissances et expériences. Dans cette étape, il faut définir le scénario d'interaction souhaité entre les utilisateurs et la mémoire d'entreprise et l'interface la plus adaptée à l'environnement de l'activité de l'utilisateur,
- **La quatrième étape** est consacrée à l'évaluation et l'évolution de la mémoire. Définir les critères d'évolution d'une mémoire et la façon de prise en compte des résultats de l'évaluation. De connaître qui devra évaluer la mémoire et comment ? Déterminer l'organisation adaptée pour la maintenance et l'évolution de la mémoire et connaître l'évolution de la mémoire. Sera-t-elle centralisée dans un service ou sera-t-elle décentralisée et distribuée parmi les membres de l'organisation ?

1.7. Retour d'expérience et apprentissage

« Le savoir se crée et se développe par imitation et apprentissage et donc les organisations peuvent apprendre, mémoriser, exploiter, protéger et renouveler leurs savoir. » Toutes les actions menées dans les organisations consomment et génèrent du savoir. Du technicien au décideur, ils apprennent et mémorisent à partir de leur expérience. Le retour d'expérience a donc un impact sur l'apprentissage en favorisant (voir en étant un élément) du processus de mémorisation. Il existe deux dimensions à l'apprentissage, l'individuel et le collectif. Le RETEX intègre ces deux dimensions. Toutefois, des cas limites existent.

L'apprenant individuel doit développer son propre projet de développement personnel et professionnel et le valider. L'enjeu n'est pas seulement pour le collaborateur d'être compétent à un moment donné mais dans un contexte d'évolution rapide des technologies, l'individu doit en plus maintenir et développer son propre patrimoine de compétences, mais aussi trouver des réponses nouvelles à des questions professionnelles. Il devra simuler des situations analogues afin de l'aider à décider. Des contrats sont mis en place entre l'entreprise et le collaborateur.

L'apprentissage collectif va rechercher à mettre en réseau les collaborateurs géographiquement éloignés. Il va favoriser les échanges de pratiques entre les professionnels d'un même domaine et permettre à chacun d'accéder à des outils d'auto-évaluation et d'avoir un retour instantané sur ses points d'appui et d'amélioration. Enfin les collaborateurs devront conserver, enrichir, transférer des expertises à un grand nombre de collaborateurs. Cela sera facilité en disposant de supports de formation et d'auto-formation modulable et évolutive,

L'apprentissage organisationnel est un processus dynamique qui permet à l'organisation de s'approprier de nouveaux savoirs créés par des individus. Le savoir se crée et se développe

par répétition, par apprentissage. Les organisations apprennent, mémorisent, exploitent, protègent et renouvellent leurs savoirs. On s'aperçoit que lorsque l'on répète une opération ou une tâche, le temps d'accomplissement de cette opération diminue à chaque répétition de cette même opération suivant une loi d'apprentissage ou d'expérience. La durée de l'opération diminue en pourcentage constant, appelé effet d'apprentissage.

Toutefois un certain nombre d'auteurs mettent en avant des limites entre *apprentissage et retour d'expérience*. L'apprentissage par répétition doit faire face à l'intelligence des situations nouvelles où l'action ne produit pas nécessairement des résultats améliorés mais une meilleure compréhension d'une classe élargie de phénomènes.

Pour résoudre un problème, chaque entité ou décideur industriel fait appel à ses savoirs déclaratifs et procéduraux qui lui sont propres et qui sont mémorisés dans les règles et procédures qui régissent son fonctionnement. Il en résulte des représentations et interprétations partielles, simplifiées et *proches des situations connues*. Ces représentations suggèrent des *solutions déjà expérimentées*. Généralement la recherche de solutions s'arrête à la première jugée satisfaisante car répondant aux objectifs perçus et ne perturbant pas, ou peu, le fonctionnement du décideur. L'inconvénient de cette démarche ou processus est de se rassurer en trouvant des comportements passés qui ont été couronnés de succès. Il tend à ramener le décideur prisonnier de son apprentissage interne, sans ouverture vers l'extérieur. L'ouverture vers l'extérieur s'avère nécessaire si le système veut être viable et pérenne.

Dans cette démarche, attention de ne pas remplacer le raisonnement analytique ou la recherche expérimentale par l'analogie simplificatrice. Seule la solution préférée est retenue et n'en perçoit que des inconvénients aux alternatives. La décision ne résulte pas de savoirs « codifiés », partageables par tous, mais de savoirs et compétences procédurales dépendant de l'histoire et des expériences passées de l'individu ainsi que des contextes et des rôles qui ont formé les représentations qu'il se fait de lui-même et du monde qui l'entoure.

De plus, selon Tarondeau [Tarondeau, 2003], l'être humain est apprenant par nature, mais certains plus que d'autres. Les individus sont inégaux devant l'acquisition des savoirs formalisés, mais tout être humain développe des *savoir-faire dans l'action*. Il faut inverser l'équilibre entre savoirs codifiés et savoirs tacites : on doit donner la place à l'expérience comme moyen de développement du savoir et admettre que c'est l'affaire de tous et de chacun et non d'une minorité d'individus.

Enfin, « Pour apprendre, il faut oublier », selon Changeux [Changeux, 2004], l'apprenant doit accepter se séparer de ses *a priori*. « Pour développer des organisations performantes, il faut des leaders modestes, ayant oublié des figures imposées qui les ont propulsés au sommet des organisations, avides d'apprendre et de partager le savoir des autres ».

1.8. Positionnement de nos travaux

Au cours de ce premier chapitre, nous avons essayé de présenter la problématique du retour d'expérience dans un contexte industriel à partir d'un échantillon de différentes entreprises. Nous avons surtout voulu montrer l'importance du retour d'expérience et de son cycle à mettre en œuvre au niveau des entreprises. La capitalisation et le partage des connaissances tacites issues du retour d'expérience sont des éléments importants dans l'évolution et le développement des entreprises. Le RETEX est le moteur de progrès continu au sens organisationnel, individuel et collectif. Il englobe un élément indispensable comme l'apprentissage individuel ou collectif. Il augmente la responsabilité humaine en proposant au décideur des expériences validées et considérées comme les meilleures pour prendre des décisions. Ainsi le RETEX permet d'améliorer les résultats obtenus. C'est pour ces raisons que les entreprises d'aujourd'hui investissent plus en plus dans cette approche.

Dans un processus de capitalisation des connaissances dans une approche de retour d'expérience, il existe deux aspects importants à prendre en considération : l'expérience liée à la réalisation des projets dans l'action et la résolution de problèmes.

La structuration et la capitalisation du retour d'expérience font dans les bases d'expériences (appelée base de cas dans le cadre du RàPC) ou une mémoire d'entreprise intervient généralement à tous les stades de la vie d'un produit ou d'une installation. Dans les phases préliminaires de définition, au cours de la conception, la mise en service, l'exploitation, la maintenance, et jusqu'à la fin de vie, l'expérience acquise au cours des différentes étapes de ce cycle sont naturellement reconduites pour la définition de nouveaux produits et installations. Au cours de ces différentes étapes, l'utilisation des bases d'expériences intervient comme un facteur d'optimisation comme [Lannoy & Procaccia, 1994] :

- Le respect des critères de sécurité pour ce qui concerne la fiabilité, la détermination les défaillances critiques des matériels, les procédures d'utilisation des matériels et installation,
- Le plan de l'amélioration de la qualité des équipements et de leur durée de vie,
- Afin de vérifier les critères économiques associés à la disponibilité, au contrôle, à la maintenance des matériels et à l'approvisionnement des pièces de rechanges.

Dans nos travaux, nous nous intéressons plus particulièrement à l'aspect de résolution de problème à partir du retour d'expérience. La création d'une base de cas pour les expériences acquises antérieures afin de résoudre les nouveaux problèmes devient nécessaire. Nous pouvons formaliser notre problématique scientifique comme suivant :

- Quelle est la technique ou la méthodologie pour la formalisation et la réutilisation des expériences dans la démarche de résolution de problème d'un processus de retour d'expérience ?
- Est-ce que le raisonnement à partir de cas pourra être une réponse potentielle à ce problème ?
- Quel est la position du raisonnement à partir de cas conversationnel dans le processus de RETEX ?
- En considérant que le raisonnement à partir de cas est une méthodologie issue de l'intelligence artificielle, peut-on introduire cette méthodologie dans le domaine de génie industriel ?

Afin de résoudre ces questions, nous avons émis les hypothèses suivantes :

- Le raisonnement à partir de cas conversationnel, une méthodologie l'issue de l'intelligence artificielle, pourra être une réponse pour cette problématique.
- Le raisonnement à partir de cas pourra être introduit comme une approche innovante dans le domaine industriel
- Le raisonnement à partir de cas conversationnel est basé sur le raisonnement humain et pourra avoir un rôle important dans le diagnostic industriel.

Afin de répondre à notre problématique et vérifier nos hypothèses, nous allons réaliser une étude bibliographique sur le RàPC et le RàPCC successivement dans le deuxième et troisième chapitre. A partir de ces approches, dans le chapitre quatre nous présenterons notre proposition méthodologique dans le domaine diagnostic industriel. Enfin, nous présenterons une application industrielle dans le chapitre cinq à partir de notre contribution, puis concluons en apportant des remarques et suggestions à nos travaux.

CHAPITRE 2 :

APPROCHE DU RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons d'exposer une méthode de retour d'expériences : le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC). Tous d'abord nous positionnons notre choix de RàPC par rapport aux autres méthodes existantes dans le RETEX. Après avoir défini ce qu'est le RàPC, en passant par ses origines, nous expliciterons les principes de cette méthodologie. Nous pourrions constater que le RàPC s'appuie sur un mode de raisonnement par analogie(s), ce qui nous amènera à présenter le carré d'analogie dans ce même cadre. Seront exposés également les fonctionnements du cycle classique et du cycle amélioré avec, pour chacun, la hiérarchisation des tâches qui en découlent. Enfin, dans un dernier temps, nous examinerons quels sont les composants d'un tel système afin de comprendre parfaitement le fonctionnement du RàPC. Nous présenterons le modèle d'organisation et l'indexation des cas dans une base de cas. Nous montrons, ensuite, des avantages et des limites de cette approche et son utilisation dans ces différents domaines et plus particulièrement en retour d'expérience. Nous expliquerons la relation du RàPC avec l'innovation. Nous comparons donc le RàPC avec d'autres approches innovatives et nous démontrons que le RàPC pourra être considéré comme une approche innovante. Ensuite, nous présenterons les différents modèles du RàPC. Finalement, nous concluons quant aux limites du RàPC et précisons ainsi notre problématique de recherche.

2.2. La présentation générale et l'historique du RàPC

2.2.1. Le retour d'expérience et le raisonnement à partir de cas

Les expériences des collaborateurs et le retour d'expérience dans l'entreprise sont devenus plus en plus précieux ces dernières années. Le retour d'expérience permet d'éviter les erreurs du passé et de réutiliser des solutions éprouvées voire de créer de nouvelles solutions. Les entreprises focalisent de plus en plus leur attention sur le retour d'expérience comme un moyen d'amélioration de leur performance et de leur capacité à être plus créatives et innovantes. Nos travaux se situent dans une démarche de résolution de problèmes industriels dans le processus de retour d'expérience. Le RETEX, est une démarche qui cherche à collecter des données issues de documents et des données orales. Ensuite, on cherche élaborer des bases de données. Le RETEX sert à réaliser de la gestion des connaissances (expériences tacites) et de la résolution de problèmes. On rappellera que nous nous positionnons dans ce dernier domaine.

Plusieurs méthodes ont été proposées dans le cadre du RETEX : REX, MKSM, CYGMA, Atelier FX, Componential Framework, CommonKADS, KOD et MEREX. Certaines de ces méthodes ont été utilisées dans le domaine de la résolution de problèmes comme : REX, Componential Framework, CommonKADS, et KOD.

La méthode « *REX* » a été conçue au départ dans le but de capitaliser les expériences de conception de réacteur au sein du CEA. Le principe de base de la méthode REX consiste à constituer des « *éléments de connaissances* » tels que des « *éléments d'expériences* » issus d'une activité quelconque et à restituer ces éléments pour qu'un utilisateur puisse les valoriser. Les éléments de connaissances sont stockés et gérés dans une mémoire avant d'être restitués pour réutilisation. Les éléments d'expérience sont construits principalement à l'issue des entretiens auprès d'experts et à partir des documents relatant une activité (i.e. document de synthèses, bases de données) [Dieng-Kuntz, 2001] [Matta et al., 1999].

La méthode « *Componential Framework* » [Steels, 1993] a été proposée dans le cadre de l'acquisition des connaissances pour développer des systèmes à base de connaissances. Cette méthode a été ensuite adaptée pour supporter la gestion des connaissances dans une entreprise. Dans cette méthode, une activité peut être définie selon trois perspectives : tâche, information et méthode. La perspective « *tâche* » décrit les objectifs à atteindre, la perspective « *information* » met en avant les informations et les connaissances consultées et construites pour réaliser les tâches et la perspective « *méthode* » met en évidence comment les informations ont été utilisées pour réaliser les tâches. La définition de ces trois perspectives forme un cycle dans lequel chaque perspective évoque des connaissances à définir dans une autre perspective [Matta et al., 1999].

La méthodologie CommonKADS¹ [Schreiber et al., 1994] repose sur le postulat que le partage des connaissances est basé sur la communication et la recréation de connaissances [Dieng-Kuntz, 2001]. CommonKADS sépare les connaissances du domaine des connaissances du raisonnement, et distingue, pour ces dernières, deux niveaux de modélisation : le niveau inférence et le niveau tâche [Wielinga, 1993]. Il propose donc une décomposition des connaissances descriptives et opératoires en trois niveaux de modélisation, complémentaires et utilisable séparément :

- Le niveau *domaine* décrit l'ensemble des connaissances du domaine exploitées par les structures de raisonnement lors de la résolution de problèmes,
- Le niveau *inférence* organise, au sein de structures de raisonnement, les connaissances du domaine suivant leur rôle dans la résolution de problème,
- Le niveau *tâche* organise les tâches selon le but et les sous-buts de la méthode de résolution de problèmes. Il précise le contrôle, ou la dynamique, des structures de raisonnement utilisées pour atteindre ces buts de façon optimale.

Ces trois niveaux de modélisation sont liés : le niveau tâche contrôle la structure de raisonnement du niveau inférence et le niveau inférence utilise les connaissances descriptives

¹ Common Knowledge Acquisition and Design Support

du niveau domaine. Le modèle CommonKADS aborde une méthodologie de résolution de problème comme un moyen de contrôle des raisonnements effectués sur et avec les connaissances du domaine [Caulier, 2001].

| Méthodes | Modes de recueil | Aspects de connaissances étudiées | Source de connaissances | Modes d'évolution | Types de mémoires définies | Application existantes |
|-------------------------------|-----------------------------------|--|---|---|---|---|
| REX | Entretiens + Analyse de documents | Résolution de problèmes + Vocabulaire | Experts+ Documents | Ajouts d'éléments d'expérience + liens vers lexique et vues | Mémoire d'individuelle d'expériences | Nucléaire, aéronautique, électricité |
| Componential Framework | Entretiens + Analyse de documents | Résolution de problèmes + Domaine | Experts+ Documents | Modélisation de connaissances | Mémoire d'activités : Modèle de connaissances | Gestion de production |
| CommonKADS | Entretiens + Analyse de documents | Résolution de problèmes + organisation + Domaine | Experts+ Documents | Modélisation de connaissances | Mémoire d'activités : Modèle de connaissances | Conception naval, diagnostic médical, domaine juridique, finance, électricité |
| KOD | Entretiens + Analyse de documents | Résolution de problèmes+ Domaine | Experts+ Documents | Modélisation de connaissances | Mémoire d'activités : Modèle de connaissances | - |
| RàPC | Entretiens + Analyse de documents | Résolution de problèmes | Experts + Documents + Expérience sous forme d'exemples + Arbres de défaillances (protocoles de décisions) | Ajouts d'éléments d'expérience sous forme des cas | Mémoire à base de cas + Mémoire d'entreprise | Planification, diagnostic médical, diagnostic industrielle, design, enseignement, juridique, maintenance, assurance |

Tableau 2. La comparaison de RàPC avec d'autres méthodes [Source : adapté de Dieng-Kuntz, 2001]

La méthode KOD¹ est une méthode de développement de système à base de connaissance. KOD est le témoin du passage de la problématique de l'*Expert System*² à celle du *Knowledge Management* ; il s'agit d'une des toutes contributions scientifiques et méthodique à la résolution de problème de la capture de l'expertise. L'élaboration de KOD a fait appel aux sciences humaines ; cette caractéristique préfigure les collaborations entre sciences de l'information et sciences sociales [Le Blanc, 2008]. Le processus de recueil et de

¹ Knowledge Oriented Design

² Un système expert est un logiciel composé de quatre modules : *la base de connaissances, inférence, espace de travail, et système d'inférence*. La *base de connaissances* est alimentée par un expert humain, généralement sous forme des règles logiques. L'*espace de travail* contient la description du cas d'étude fournie par l'utilisateur, il contient également les déductions que le système informatique réalise. Ces déductions sont générées par le *système d'inférence*, à travers une adaptation logique des connaissances fournies par l'expert au cas décrit par l'utilisateur. Lorsque le système d'inférence est à bout d'argument pour explorer plus en avant ses déductions, il questionne l'utilisateur via l'*inférence* [Le Blanc, 2008] [Ermine, 1989].

modélisation de la connaissance repose sur trois modèles : le modèle pratique, le modèle cognitif et le modèle informatique et sur trois paradigmes : l'être, le faire et le dire. Le modèle pratique permet d'identifier les éléments de l'expertise, le modèle cognitif permet de structurer et valider les connaissances acquises, et le modèle informatique permet la mise en forme des connaissances dans un programme informatique [Dieng-Kuntz, 2001].

Nous pouvons donc récapituler une comparaison de toutes ces méthodes ainsi que le RàPC dans le tableau 2 (ci-avant).

Au vu de ce tableau, nous avons retenu le RàPC pour les raisons suivantes :

- Lorsque l'on a des experts à disposition, mais que ceux-ci ne peuvent s'exprimer que sous forme d'exemple, et qu'ils n'ont pas de modèles généraux, on va extraire les connaissances grâce au traitement de l'expérience de terrain. La méthodologie du RàPC est adaptée à cette situation. En revanche, si ces experts ont une bonne connaissance du domaine, on peut utiliser une démarche de management des connaissances [Chebel-Morello, 2008].
- Nous pouvons constater que les méthodes présentées possèdent des domaines applications assez limités, tandis que le RàPC possède une diversité dans les différents domaines d'application.
- Le RàPC est adapté à un travail de diagnostic. Nous avons donc utilisé l'approche de RàPC dans le domaine diagnostic technique. Plus précisément, nous avons appliqué les arbres de défaillance ; en tant que moyen pour formaliser et extraire des connaissances de l'expert.

2.2.2. La définition du Raisonnement à partir de Cas

Le RàPC a émergé depuis les années quatre-vingts, est une approche issue de l'intelligence artificielle et de la psychologie cognitive orientée vers la résolution de problèmes. Le principe du RàPC est simple, il utilise des expériences antérieures connues par analogie pour résoudre de nouveaux problèmes, appelé cas. Un « *cas* » est un ensemble de problèmes et de leurs solutions associées. Un « *cas source* » est un cas dont on va s'inspirer pour résoudre un problème appelé « *cas cible* ».

Selon Carbonell [Carbonell, 1986] « la résolution de problèmes par analogie consiste à transférer de la connaissance à partir des épisodes précédents de résolution de problèmes aux nouveaux problèmes qui partagent des aspects significatifs de l'expérience précédente correspondante, et à utiliser les connaissances transférées pour construire des résolutions pour les nouveaux problèmes ». Quant à la définition classique du RàPC présentée par Reisbeck et

Schank [Reisbeck & Schank, 1989], « le RàPC résout des problèmes en utilisant ou en adaptant des solutions de problèmes antérieurs¹ ».

D'après Beauboucher, « le RàPC consiste à retrouver des connaissances à partir d'épisodes passés dans un domaine particulier, connaissance qui partage des aspects significatifs avec des expériences passées correspondantes et à utiliser les connaissances transférées pour construire des solutions aux nouveaux problèmes ou pour justifier des solutions du domaine » [Beauboucher, 1994].

Selon Watson, les origines du RàPC ont été impulsées pour comprendre comment les individus mémorisent des informations et cela successivement ainsi que pour comprendre comment ils se rappellent ces informations. Par la suite, il a été reconnu que les individus résolvent généralement les problèmes en se rappelant la manière dont ils ont résolu des problèmes similaires dans le passé. Le RàPC est une méthodologie de la résolution de problèmes qui utilise différentes technologies de résolution de problème [Watson, 1999].

Pour Watson, le RàPC, en tant que méthodologie, a une implication important: le RàPC n'est pas une technologie en soi, mais peut être considéré comme une méthodologie, selon la littérature. Considérer le RàPC comme une méthodologie permet d'ouvrir de nombreuses voies de recherche, tandis que dans sa perspective « techniciste », il est impossible d'en dépasser ce stade. Ainsi, de nombreuses technologies ou approches pourront être utilisées dans le cycle du RàPC. En conséquence, nous rejoignons la pensée de Watson et nous considérerons le RàPC tout au long de nos travaux comme une méthodologie.

En résumé, le RàPC est un raisonnement par analogie² qui consiste à raisonner et à résoudre un nouveau problème courant à partir d'expériences ou de cas rencontrés et résolus précédemment. Le but est d'utiliser des informations et des connaissances issues des cas précédents et de les adapter pour la résolution de problèmes en cours de résolution.

2.2.3. L'origine du RàPC

L'origine de RàPC vient des travaux de Schank et Abelson à l'Université de Yale sur la mémoire dynamique et l'apprentissage et qui précisent l'importance des expériences passées au cours d'une résolution de problème [Schank, 1982]. La théorie de la mémoire dynamique explique que la plupart des personnes améliorent leur capacité à résoudre des problèmes grâce à leurs expériences acquises.

¹ Traduit par l'auteur

² On distingue plusieurs types de raisonnements : **Le raisonnement déductif** : qui part d'une idée générale pour en déduire des propositions particulières. **Le raisonnement inductif** : qui généralise une idée à partir des observations effectuées. **Le raisonnement absurde** : qui imagine les conséquences absurdes d'une idée pour la réfuter. **Le raisonnement critique** : qui consiste à constater une opinion adverse. **Le raisonnement dialectique** : qui consiste à peser les arguments favorables ou défavorables à une thèse. **Le raisonnement par analogie** : qui interprète une nouvelle situation par comparaison avec une situation voisine.

Ces auteurs considèrent que nos connaissances générales sur les situations sont enregistrées en tant que *scripts* qui nous permettent de créer des attentes et de réaliser des inférences. Les scripts sont à comprendre comme une structure conceptuelle pour la mémoire et décrivant les stéréotypes d'informations sur des événements tels que, aller au restaurant, ou encore rendre visite à un médecin [Schank & Abelson, 1977].

Cependant, les expériences sur les scripts ont montré qu'ils n'appartiennent pas à une théorie de la représentation de la mémoire. Roger Schank a continué à étudier les rôles de la mémoire relative aux situations antérieures (exp., des cas) d'une part, et d'autre part, de la situation ou les types de Memory Organization Packets (MOPS) qui participent à la fois à la résolution de problèmes et à l'apprentissage [Schank, 1982].

2.2.4. L'historique du RàPC

De nombreux auteurs ont contribué à développer le RàPC. Janet Kolodner a développé le premier système du RàPC appelé CYRUS [Kolodner, 1983a, 1983b]. CYRUS contient des connaissances sur des voyages et des réunions de secrétaires aux États-Unis. CYRUS a été mis en œuvre du modèle de mémoire dynamique de Schank. D'après Watson et Marir [Watson & Marir, 1994] son modèle de mémoire des cas servit plus tard comme base pour plusieurs autres systèmes du RàPC y compris MEDIATOR [Simpson, 1985], CHEF [Hammond, 1986], de PERSUADER [Sycara, 1987], CASEY [Koton, 1989] et JULIA [Hinrichs, 1992].

PROTOS [Bareiss, 1988; Porter & Bareiss, 1986] a été développé par Porter de l'Université du Texas. PROTOS unifie le domaine des connaissances générales et la connaissance de cas spécifiques selon un modèle de mémoire(s) de cas. Ce travail a été repris plus tard par GREBE, en un système d'opération dans le domaine juridique [Brainting, 1991].

HYPO a été développé par le groupe de l'Edwina Rissland à l'Université du Massachusetts [Ashely, 1988]. Dans HYPO, les cas représentants des précédents légaux sont utilisés pour interpréter une situation au tribunal et produire des arguments pour la défense.

Les recherches sur le RàPC ne se limitent pas aux États-Unis, toutefois elles ont été plus lentes à démarrer en Europe. Parmi les premiers travaux européens, nous trouvons ceux de Derek Sleeman du groupe d'Aberdeen en Écosse. Ces chercheurs ont étudié les utilisations des cas pour l'acquisition des connaissances en développant le système REFINER [Sharma & Sleeman, 1988]. À la même époque, Mike Keane, du Trinity College de Dublin, a entrepris une recherche en sciences cognitives selon un raisonnement analogique, qui a ensuite influencé le RàPC [Keane, 1988].

En Europe, Michael Richter et Klaus Althoff [Althoff, 1989] de l'Université de Kaiserslautern ont appliqué le RàPC en diagnostic complexe. Cela a donné lieu au PATDEX

système [Richter & Weiss, 1991]. Agnar Aamodt de l'Université de Trondheim a étudié l'aspect « apprentissage » du RàPC, la combinaison des cas et le domaine général de connaissance qui ont été développés en CREEK [Aamodt, 1991].

Au Royaume-Uni, le RàPC semble être particulièrement appliqué au génie civil. Un groupe de l'Université de Salford a utilisé le RàPC comme outil de diagnostic des défaillances, la réparation et la rénovation des bâtiments [Watson & Abdullah, 1994]. Yang et Robertson [Yang & Robertson, 1994] à Édimbourg ont développé un système RàPC pour l'interprétation du règlement de la construction, tandis qu'un autre groupe au Pays de Galles a appliqué le RàPC à la conception des ponts d'autoroute [Moore et al., 1994].

En France, Mille et Fuchs [Mille, 1995] [Fuchs et al., 1995] ont développé le PAD'IM pour l'aide à la décision en supervision industrielle. Fuchs a développé le ROCADE, c'est un système de représentation des connaissances du RàPC par objet dans le domaine de la supervision industrielle et qui permet de modéliser à la fois les connaissances du domaine (les cas) et les connaissances propres au cycle RàPC [Fuchs, 1997]. Lieber et Napoli [Lieber, 1997] [Lieber & Napoli, 1996] ont développé Resyn/RàPC qui est un système d'aide à la conception de plans de synthèse en chimie organique. Smyth et Keane [Smyth, 1996] [Smyth & Keane, 1993] [Smyth & Keane, 1995] ont développé le Déjà Vu, qui est un système de conception de logiciels de contrôle de véhicules robotisés industriels.

2.3. Le principe du RàPC

2.3.1. Le raisonnement par analogie : le carré d'analogie et le RàPC

Le principe du RàPC s'appuie sur le raisonnement par analogie qui vise à caractériser une situation en cours, appelée « cible », en la mettant en correspondance avec une situation déjà rencontrée, appelée « source » (figure 5 ci-après). On sous-entend donc que si deux situations se ressemblent, ou sont analogues, les conclusions que l'on peut en tirer de l'analogie permettent d'établir des relations entre un problème cible et problème source.

Un cas source est sélectionné à partir des valeurs de descripteurs du problème cible et en utilisant la mesure de similarité Alpha. Les descripteurs solution doivent être adaptés car dépendent de descripteurs problèmes source, différents des descripteurs problèmes cible, sont mis en évidence par les relations de dépendance Béta entre valeurs de descripteurs problème cible et valeur de descripteurs solution.

Autrement dit, si une valeur de descripteur source dépend d'une valeur de descripteur problème, une modification de la valeur du descripteur problème entraînera une modification « analogue » à la dépendance du descripteur solution correspondant. Cette connaissance est nécessaire pour l'adaptation. En fonction de ces dépendances et des écarts alpha constatés à

corriger, l'adaptation permet de proposer une solution cible candidate qui pourra être vérifiée par la vérification de sa conformité aux dépendances particulières qui pourraient exister entre problème et solution cible (Figure 5) [Mille et al., 1996].

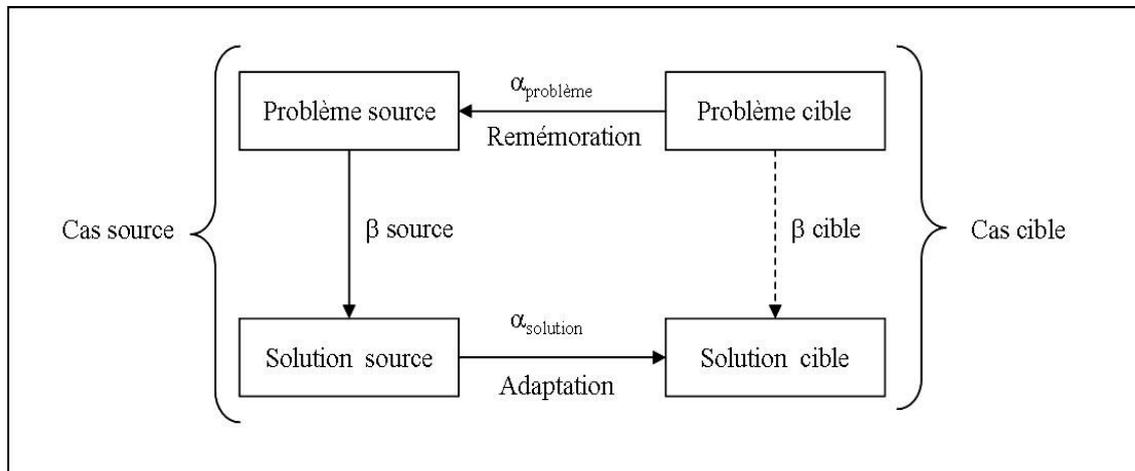


Figure 5. Le carré d'analogie [Source : Mille et al., 1996]

2.3.2. Représentation d'un cas

Un cas dans une base de cas représente différents types de connaissances qui peuvent être stockées selon différents formats de représentations. Un cas est un ensemble de problèmes se note « pb » et la solution de ce problème est alors codifiée « sol (pb) » : $cas = (pb, sol(pb))$.

Un « cas source » est un cas dont on va s'inspirer pour résoudre un nouveau problème et que l'on nommera le « cas cible ». La codification est alors la suivante :

$$\text{Cas-source} = (\text{source}, \text{sol}(\text{source}))$$

$$\text{Cas-cible} = (\text{cible}, \text{sol}(\text{cible}))$$

Dans chacun de ces types de systèmes RàPC, un cas peut être représenté différemment. Selon les applications du RàPC, un cas, son problème et sa solution, sont décrits par un ensemble de descripteurs. Un descripteur est tout les informations qui nous permettent de décrire le problème. Le descripteur « d » est caractérisé par une paire $d=(a,v)$, où « a » est un attribut défini par un nom et « v » est la valeur qui lui est associée [Gebhardt et al., 1997]. Un attribut représente une caractéristique du domaine applicatif qui peut être numérique ou symbolique.

Nous pouvons écrire un cas comme la suite :

- $\text{Source}=\{d_1^S \dots d_n^S\}$ où d_i^S est un descripteur du problème source.

- $Sol(source)=\{ D_1^S \dots D_i^S \}$ où D_i^S est un descripteur de la solution source.
- $Cible=\{ d_1^C \dots d_i^C \}$ où d_i^C est un descripteur du problème cible.
- $Sol(cible)=\{ D_1^C \dots D_i^C \}$ où D_i^C est un descripteur du problème cible.

2.4. Les cycles du RàPC

Nous présentons dans cette partie deux types de cycles de RàPC : le cycle classique de RàPC, d'une part, et le cycle amélioré de RàPC, d'autre part. Cela nous amènera à décrire les différentes étapes de ces cycles.

2.4.1. Le cycle du RàPC Classique

Le cycle de résolution de problèmes du RàPC a été proposé la première fois par Aamodt et Plaza [Aamodt & Plaza, 1994]. Cet auteur a proposé les quatre étapes suivantes : Remémorer ou Retrouver¹, Réutiliser², Réviser³, Mémoriser⁴. Ce cycle a été complété plus tard par Mille [Mille, 2006], (figure 6 ci-après), en ajoutant une étape supplémentaire avant la remémoration. Cette étape s'appelle « Élaboration ». Nous présentons ci-après une brève description des cinq étapes du cycle RàPC:

- **Élaboration** : l'élaboration consiste en la formalisation de la description du problème à résoudre en vue de la remémoration.
- **Remémoration** : l'objectif est de trouver et de sélectionner des cas sources similaires pour la résolution du problème en cours (problème cible).
- **Réutilisation** : la réutilisation consiste à adapter les solutions des cas sources pour résoudre le problème cible.
- **Révision** : cette partie comporte deux étapes : évaluer la solution produite par la réutilisation et corriger la solution en utilisant la connaissance spécifique du domaine.
- **Mémorisation** : l'objectif est l'intégration et la mémorisation de la nouvelle solution dans la base de cas. C'est l'étape de l'enrichissement de la base de cas.

¹ Retrieve

² Reuse

³ Revise

⁴ Retain

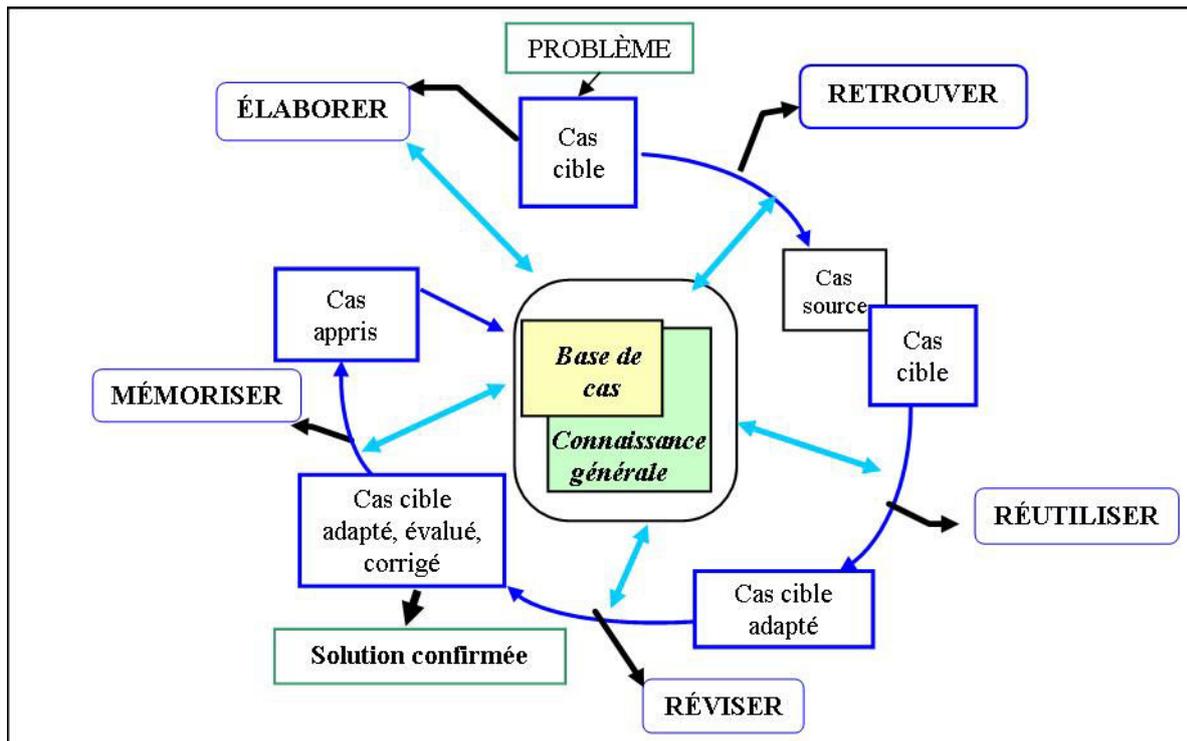


Figure 6. Le Cycle de Raisonnement à Partir de Cas [Source : Mille, 2006]

2.4.2. Élaboration

Dans le cycle du RàPC, la première phase définie par Aamodt [Aamodt, 1994] est la remémoration. Selon Mille [Mille, 2006], cette étape pourra être améliorée en ajoutant une nouvelle phase en amont de la remémoration. Cette phase amont est appelée « élaboration ». Cette étape consiste alors, à partir de l'entrée du système du RàPC, à construire le problème cible :

Élaboration : pré-cible \rightarrow cible

Où, la pré-cible dénote l'entrée du système de RàPC, c'est-à-dire, le problème cible avant sa mise en forme. La mesure de similarité réalisée dans la phase de remémoration exprime ainsi l'importance et l'influence des descripteurs de problèmes pour sélectionner un cas dont la solution sera adaptable en vue de la résolution d'un problème cible. Cette phase nécessite deux tâches principales : création d'un cas et préparation du cas [Fuchs, 1997]. Lors de l'élaboration, un nouveau cas est créé et la description du problème est ensuite complétée en collectant d'autres informations pertinentes pour le problème à résoudre. La deuxième tâche s'agit de préparer le cas, c'est-à-dire choisir les indices adéquats pour la recherche des cas. Ces indices sont les descripteurs du cas considérés comme pertinents pour la résolution du problème et utilisés comme critères de recherche dans la base de cas. Ceci est en vue de la remémoration en choisissant les indices à utiliser pour se remémorer un cas passé. Le rôle de

l'élaboration est donc de construire les descripteurs influents afin que la recherche des cas proches puis l'adaptation soit efficace [Fuchs et al., 2006].

2.4.3. Remémoration

La phase de remémoration est une étape importante dans un système de RàPC. L'une des hypothèses majeures dans le RàPC est de dire que des expériences similaires peuvent guider de futurs raisonnements, des résolutions de problèmes et permettre un apprentissage de la base de cas. La remémoration est donc le processus qui permet de retrouver des cas sources similaires au cas cible. Les cas sources similaires sont des cas qui ont besoin de moins d'adaptation. La mesure de similarité cherche la ressemblance entre les descripteurs des sources et cibles. Les tâches de remémoration consistent à « rechercher » des cas similaires, à les « appairer », c'est-à-dire les « évaluer et calculer la similarité », et enfin à « sélectionner » le cas source le plus adapté.

Dans l'étape de l'« appariement », une mise en correspondance des descripteurs de problèmes deux à deux s'effectue et est suivie par une évaluation qui permet d'estimer la similarité et l'ordonnancement des cas en conséquence. Nous détaillons ci-après ces techniques.

L'étape de sélection choisit un ou plusieurs cas en fonction de cet ordonnancement. Le poids d'un attribut est compris dans l'intervalle [0, 1]. Un attribut ayant un poids de 1 est considéré comme très important puisque ce poids est le poids maximum. A l'inverse, un attribut ayant un poids de 0 est considéré comme négligeable. Cette pondération interviendra pour la recherche des cas sources les plus proches du cas cible.

2.4.3.1. Les techniques de recherche des cas similaires

Mesure de similarité

Il existe différentes méthodes pour calculer la similarité ou la dissimilarité. La distance de Minkowski est la plus connue et est souvent utilisée. Il s'agit de calculer la distance relative entre le cas cible et le cas source [Fuchs, 2008] [Pal et al., 2004].

$$Sim(C, S) = \left[\sum_{i=1}^n w_i \times |C_i - S_i|^p \right]^{1/p}$$

n : est le nombre d'attribut

C : est le cas cible

C_i : est le descripteur de cas cible

S : est le cas source

S_i : est le descripteur du cas source

w : est le poids de l'attribut i

En fonction du paramètre p :

$p=1$ distance Manhattan

$p=2$ distance euclidienne

$p=\infty$ distance de Chebychev ($\text{Max} |C_i - S_i|$)

Plusieurs techniques de similarités existent dans la phase de remémoration : *K Plus Proches Voisins*¹ (KPPV), les *approches inductives*², la *logique floue*³ ou encore les *réseaux neurones*⁴. Nous décrivons par la suite les deux approches plus utilisées dans ce domaine : *L'approche K Plus Proches Voisins* ainsi que *les approches inductives*.

L'approche K Plus Proches Voisins

La technique K Plus Proches Voisins est la technique la plus utilisée dans les RàPC. Cette technique est établie selon la mesure de Minkowski. Elle est basée sur les poids des descripteurs w_i qui évaluent la similarité entre les cas sources de la base de cas et le cas cible. Le poids permet alors de modifier l'importance d'un descripteur par rapport à un autre descripteur. La partie la plus délicate dans cette technique est de définir les poids des descripteurs. Dans l'équation 1, w est le poids du descripteur, sim est la fonction de similarité, et d_i^C et d_i^S sont des valeurs du descripteur i dans le cas cible et respectivement dans le cas source.

$$\text{Similarité}(C, S) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times \text{sim}(d_i^C, d_i^S)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Les approches inductives

Les approches inductives déterminent quels sont des descripteurs qui apportent un meilleur effet pour une discrimination des cas. Les algorithmes d'Induction, tels que ID3 [Quinlan, 1986] et CART (Classification And Regression Trees), permettent de construire des arbres de décision à partir des cas de la base de cas. Ces algorithmes d'induction divisent les cas en grappes⁵. Chaque cluster contient des cas similaires. Les techniques d'induction sont

¹ K- Nearest Neighbours (K-NN)

² Inductive approaches

³ Fuzzy logic

⁴ Neural networks

⁵ Clusters

utilisées majoritairement comme des classificateurs pour regrouper des cas similaires. Ils déterminent quels descripteurs sont à même de mieux distinguer les cas et de générer une structure de l'arbre de décision pour organiser le cas de la base de cas.

Dans la technique d'induction, l'idée principale est de pouvoir regrouper des cas qui sont similaires les uns aux autres et d'essayer de trouver la grappe qui correspond le mieux à la nouvelle situation, cela en fonction du domaine de connaissances générales. Par conséquent, seuls les cas d'un cluster précis seront pris en compte dans la recherche d'un meilleur appariement des cas. Le succès de l'indexation par l'approche inductive sera fonction de la pertinence de l'arbre de décision pour les cas mémorisés [Shin & Han, 2001] [Shin et al., 1997].

2.4.4. Réutilisation

La phase de réutilisation des cas est le processus qui permet de transformer une solution mémorisée en une solution appropriée pour le problème en cours de résolution. La réutilisation des cas mémorisés pour un nouveau cas se focalise sur deux aspects :

- Quelle différence existe entre le cas source mémorisé et le cas cible ?
- Quelle partie du cas mémorisé pourra être transférée au nouveau cas ?

Cette réutilisation amène à réaliser deux tâches : copier et adapter. Lors de l'étape de la copie, la solution ou la méthode de solution des cas mémorisés est transférée au nouveau cas. La tâche adaptée modifie la solution ou sa méthode lorsque la solution source n'est pas tout à fait pertinente. Lorsque plusieurs cas sont mémorisés, une solution pourra être dérivée de plusieurs cas ou bien plusieurs alternatives pourront être proposées. Il existe alors trois façons d'adapter des cas mémorisés :

*Réinstantiation*¹ : Lorsque le degré de la similarité entre le cas cible et le cas source mémorisé est trop élevé et il n'y a pas de contrainte imposée sur la solution. La réinstantiation est la façon la plus simple en adaptation. La solution pour un nouveau problème est copiée directement, sans modification, à partir du cas mémorisé.

*Adaptation substitutionnelle*² : La substitution remplace la partie du descripteur de solution mémorisée qui n'est pas valide aux besoins du nouveau problème.

*Adaptation transformationnelle*³ : La transformation est utilisée lorsqu'il n'y a aucune substitution appropriée à la disponibilité. Une solution pertinente sera dérivée à partir de la base des contraintes et des caractéristiques de la solution demandée. Par exemple : il est

¹ Réinstantiation

² Substitution adaptation

³ Transformation adaptation

difficile parfois de trouver un remplaçant d'un élément qui répond aux exigences du problème. Dans cette situation, la solution source devrait être ajustée (une partie ou entièrement)

Les étapes suivantes sont importantes dans l'adaptation transformationnelle :

- La remémoration des cas similaires à partir de la base de cas,
- La réparation des solutions sources en contrôlant la structure sémantique des substitutions disponibles.
- Si aucune substitution n'est disponible, il faut transformer la solution source en remplaçant certaines parties avec des composants pertinents.
- Ajouter la nouvelle solution à la structure sémantique pour des utilisations ultérieures [Pal et al., 2004].

2.4.5. Révision

La solution obtenue à l'issue de la phase de réutilisation doit être testée afin de vérifier si elle convient pour résoudre le problème. Les différences entre la solution adaptée et la solution révisée constituent des échecs de raisonnement.

La révision permet de prendre en compte des échecs non-prévus, trahissant des connaissances manquantes ou perfectibles. Elle ouvre la voie à un processus d'apprentissage permettant de compléter ou de corriger les connaissances du système ayant mené à cet échec [Fuchs, 2008].

Globalement deux parties sont nécessaires à la réalisation de cette phase : l'évaluation de la solution produite par adaptation, et la réparation de la solution en réutilisant la connaissance de domaine spécifique.

Selon Mille [Mille, 2006], l'objectif de cette phase est de faire le bilan d'un cas avant sa mémorisation et son apprentissage. Cet auteur propose trois étapes à réaliser lors de cette phase :

- Faire une introspection dans la base de cas en utilisant l'ensemble des descripteurs problème et solution pour vérifier que les cas similaires au problème cible ont bien donné satisfaction.
- Utiliser une autre méthode d'évaluation de la solution
- Essayer la solution dans le « monde réel ».

Dans tous les cas, s'il y a divergence entre ce qui a été construit comme solution et ce qui aurait fallu faire, il est important de :

- Corriger de façon à ce que le cas puisse être mémorisé comme un cas associé à une solution correcte,
- Tracer éventuellement, l'écart et de l'expliquer sous forme d'exception (ce qui revient à particulariser une forme d'adaptation en une zone plus petite pour la classe de solutions)

Ce cas, avec l'explication de la révision, devient une source d'apprentissage importante pour faire évoluer les connaissances mobilisées par le raisonnement.

2.4.6. Mémorisation et apprentissage

Lorsqu'un cas a été validé par l'utilisateur, il est important de le sauvegarder dans la base de cas pour une réutilisation ultérieure. La mémorisation est la phase de stockage et d'enrichissement de la base de cas. Il est intéressant de pouvoir sélectionner les cas à mémoriser. En effet, certains cas peuvent être très proches, et donc la mémorisation peut conduire à une duplication des informations de la base de cas. Avant de faire cette étape, il est préférable de prendre en compte quelques considérations :

- *Dans quelle(s) condition(s) un cas pourra-t-il être ajouté dans la base de cas et dans quelle(s) condition(s) faudra-t-il ignorer cet ajout ?* Pour répondre à cette question, nous devons considérer le niveau de réussite de la solution. Quel est son degré de similarité par rapport aux autres cas dans la base de cas, ainsi, y-a-t-il une leçon importante à apprendre à partir de ce cas ?
- *Si un cas doit être ajouté à la base de cas, l'indexation du nouveau cas doit être déterminée tout comme il y a lieu d'examiner la manière dont le cas est ajouté dans la base de cas.* Si la structure de la base de cas et la méthode de remémoration ont bien été structurées, l'incorporation d'un nouveau cas entraînera peut-être un besoin de planification et une restructuration de la base de cas [Pal et al., 2004].

Selon Bénard et De Loor [Bénard & De Loor, 2008], il est nécessaire d'ajouter un cas lorsque :

- Le contexte de ce dernier ne peut pas être complètement identifié avec celui d'un cas de la base,
- L'objectif pour un contexte identique est différent de celui qu'on connaissait dans la base,

- L'action pour atteindre un objectif est nouvelle, elle n'était pas présente dans les actions permettant d'atteindre l'objectif.

Si l'on ne suit pas ces préconisations sur la résolution d'un problème dans un système du RàPC, il existe néanmoins plusieurs manières de sauvegarder le nouveau cas. Si un cas est résolu à partir d'un cas antérieur, un nouveau cas est créé dans la base de cas ou bien un ancien cas se trouvera généralisé afin de subsumer le nouveau cas.

Si le problème est résolu par une autre méthode un cas complètement nouveau va se construire. Quoi qu'il en soit, une décision doit être prise à propos des procédés d'apprentissage et d'enrichissement de la base de cas. Le choix d'indexation des cas et leur mise en place sont ainsi importants dans le système, afin de l'utiliser pour la remémoration ultérieure.

Le processus d'apprentissage par l'expérience¹ est fondamental pour la base de cas du système RàPC. En effet cela permet au système d'évoluer au fur et à mesure que les nouveaux cas seront intégrés. Les différentes tâches de la phase de remémoration peuvent être résumées sous forme d'une tâche ou d'activité générale appelées « Maintenance de la Base de Cas » (MBC).

Cette maintenance consiste à développer des techniques afin de contrôler et de réagir face aux changements de cas selon différentes sources de connaissances. Ces sources sont :

- *La source de vocabulaire* : elle contient toutes les informations sur les définitions et les structures utilisées dans le système de RàPC,
- *La source de mesure de similarité* : elle contient les mesures nécessaires pour la recherche des cas,
- *La source d'adaptation* : elle contient les règles de transformation de la solution,
- *Les sources de la base de cas* : elles représentent le contenu et l'organisation de la base de cas [Haouchine et al., 2006].

2.5. L'hierarchisation des tâches du RàPC

2.5.1. L'hierarchisation des tâches du cycle classique

Aamodt et Plaza ont défini le cadre de description du RàPC en deux parties principales : un modèle de processus du cycle du RàPC que nous avons présenté en (figure 6) et une structure de tâche-méthode pour le RàPC (figure 7 ci -après).

¹ Learning from experience

Dans la figure 7, les tâches sont définies en fonction des objectifs du système. Une tâche précise est accomplie par l'application d'une ou de plusieurs méthodes. Les tâches sont nommées par chacun des « nœuds ». Les méthodes possibles représentant ces tâches apparaissent dans ce schéma en italique. Les liens entre la tâche –le nœud- (lignes solides) matérialisent différentes décompositions des tâches. Les tâches situées aux premiers niveaux sont appelées « résolution de problèmes et apprentissage à partir de l'expérience » (problem solving and learning from experience). La méthode pour accomplir des tâches est le raisonnement à partir de cas (qui est indiqué de manière inclinée par une flèche en gras). Ces tâches sont des tâches citées dans le cycle de RàPC en figure 6 : remémorer, réutiliser, réviser, mémoriser. A titre d'exemple, la tâche remémoration a été décomposée comme suit : identification des descripteurs pertinents, recherche d'un ensemble de cas sources similaires, appariement des descripteurs pertinents aux cas antérieurs, sélection des cas sources les plus similaires.

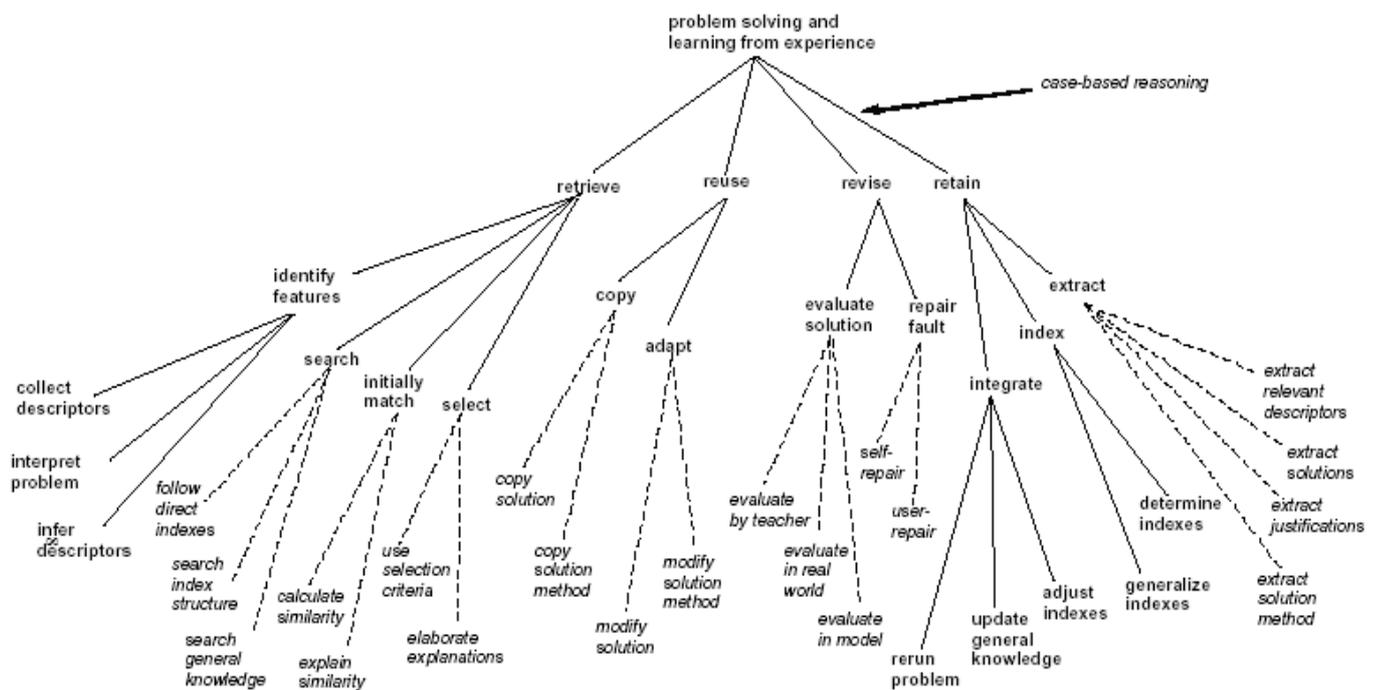


Figure 7. La décomposition des tâches-méthodes en RàPC [Source : Aamodt & Plaza, 1994]

Les méthodes en-dessous de chaque tâche (matérialisée par une ligne en pointillés) indiquent les méthodes possibles afin de réaliser ces tâches. Une méthode spécifique ou un algorithme identifie et contrôle l'exécution de la tâche particulière. La liste des méthodes qui correspond à une tâche dans la figure 7 n'est pas exhaustive. La sélection d'une méthode appropriée dépend du problème en cours et de la connaissance nécessaire dans le domaine d'application [Aamodt & Plaza, 1994].

2.5.2. Le cycle du RàPC amélioré

Le cycle du RàPC a connu une amélioration (figure 8, ci-après) par Roth-Berghofer en ajoutant deux étapes complémentaires au cycle classique du RàPC : « Examiner¹ ». « Restaurer² ». Selon Roth-Berghofer, le cycle classique du RàPC présenté par Aamodt et Plaza [Aamodt & Plaza, 94] est une bonne façon de décrire un système fonctionnel. De cette façon, le modèle fournit une description complète. Cependant, s'agissant de la maintenance, ce modèle est insuffisant à plusieurs égards [Roth-Berghofer & Iglezakis, 2001], [Reinartz & Iglezakis et al., 2001] :

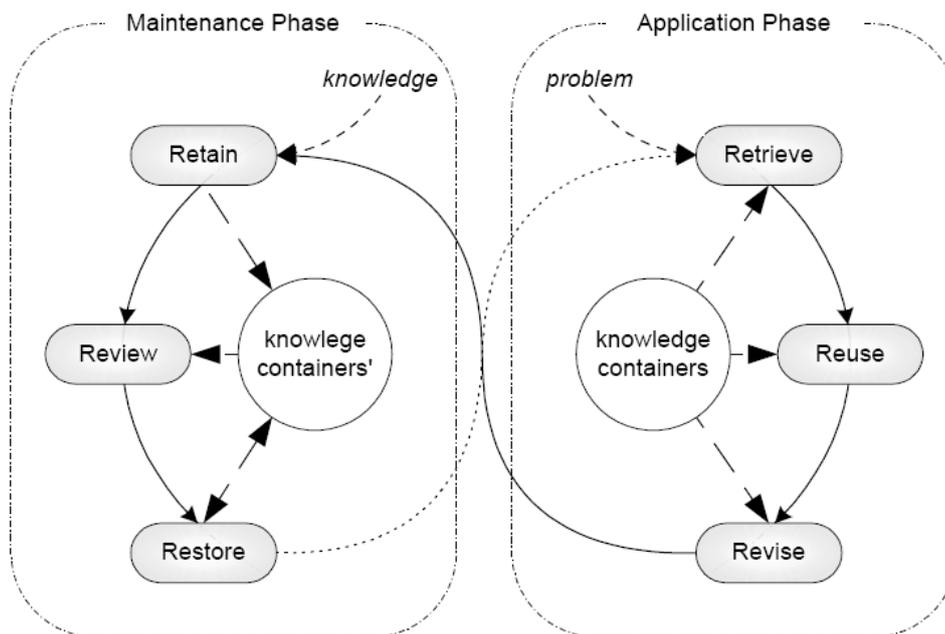


Figure 8. Les six étapes du cycle de RàPC (six RE) [Source : Roth-Berghofer & Iglezakis, 2001]

Premièrement, il n'existe pas de distinction explicite entre les étapes qui ne changent pas de système du raisonnement à partir de cas et des étapes qui le font. Cette distinction entre la phase de *l'application* et la phase de *maintenance* est importante car les changements du système ne sont pas nécessairement en raison de l'apprentissage. Deuxièmement, dans le modèle classique (en cinq étapes) aucune donnée de maintenance n'est collectée. Pour évaluer la qualité d'un système de RàPC les données doivent être collectées. Troisièmement, le changement n'est pas explicitement abordé dans le cycle classique du RàPC. Il n'y a pas d'introspection visant à surveiller les changements dans le système.

Selon la figure 8, des auteurs divisent le processus du cycle de RàPC en deux phases : la phase de « l'application » avec les étapes : *remémorer*, *réutiliser* et *réviser* et la phase de

¹ Review

² Restore

« maintenance » avec les étapes : *mémoriser*, *examiner* et *restaurer*. Les deux nouvelles étapes : *examiner* et *restaurer* ont été apportées au niveau de la maintenance du RàPC. Ces deux étapes ont été définies comme suit :

- **Examiner (Review) :** cette étape se décompose en deux tâches : *mesurer* et *contrôler*¹. La restauration considère l'état courant des « knowledge containers » et en évalue la qualité. Pour cela, les mesures de la qualité doivent être sélectionnées et indiquent la qualité de l'évaluation du système RàPC.
- **Restaurer (Restore) :** la restauration est décrite par les tâches « *sélectionner* » et « *modifier* ». Ces étapes utilisent les différents opérateurs pour modifier le contenu du système RàPC. L'étape « *restaurer* » propose plusieurs possibilités pour revenir au niveau désiré de qualité. Il peut y avoir différentes méthodes de sélection, selon le domaine d'application

2.5.3. L'hierarchisation des tâches du RàPC amélioré

Le premier niveau de hiérarchisation des tâches selon Aamodt et Plaza se nomme « résolution de problèmes et apprentissage à partir de l'expérience » (*problem solving and learning from experience*) alors que dans la version améliorée du cycle de RàPC, ce niveau a été remplacé par les deux phases que sont l'*application* et la *maintenance*.

La phase de l'application correspond aux étapes, *remémoration*, *réutilisation* et *révision*, qui sont représentées dans la (figure 9 ci-après).

Dans un premier temps, le système du RàPC réalise une remémoration afin de trouver le(s) cas similaire(s). Puis, ce système réutilise les informations et les connaissances de ce cas et propose une solution. Si la solution est rejetée par la décision humaine, alors le système du RàPC révisé la solution proposée. Si la version révisée de la solution est stockée en vue d'une réutilisation ultérieure et cela, au cours de l'étape de la mémorisation, le RàPC introduit la phase de maintenance (figure 10, ci-après).

Toutefois, afin de décrire les différentes phases du cycle RàPC dans les sections suivantes, nous allons nous appuyer sur les phases du RàPC classique. En effet, nos travaux dans le chapitre application portent principalement sur les phases de remémoration et de réutilisation.

¹ Measure and monitor

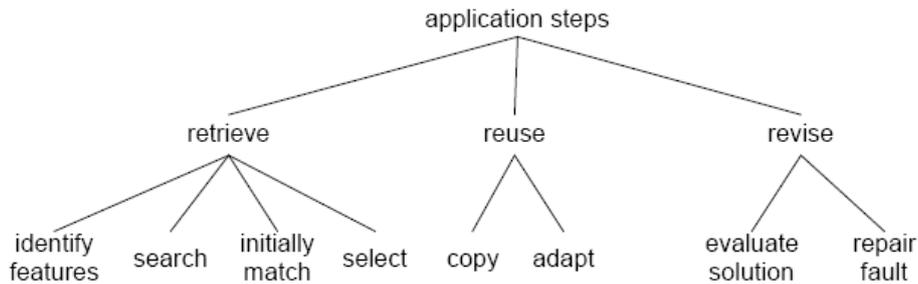


Figure 9. L'étape de l'application et des décompositions des tâches
[Source : Roth-Berghofer & Iglezakis,2001]

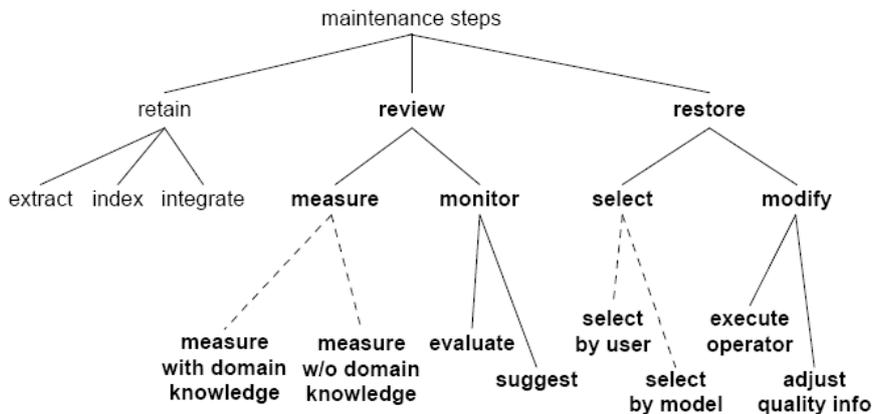


Figure 10. L'étape de la maintenance et ses décompositions de tâches et méthodes
[Source : Roth-Berghofer & Iglezakis, 2001]

2.5.4. Les composants d'un système RàPC

À partir des principes du RàPC, certains auteurs ont proposés des composants d'un système du RàPC. Un système RàPC est une combinaison de *processus* et de *connaissances* (« knowledge containers ») qui permet de préserver et d'exploiter les expériences passées, (figure 11), [Lamontagne & Lapalme, 2002]. La partie du processus se compose de la remémoration (retrieve), de la réutilisation (reuse), de la révision (revise), de la mémorisation (retain) et de *l'authoring*¹. Les connaissances utilisées par un système RàPC sont regroupées en quatre catégories (knowledge container) : *vocabulaire d'indexation*, *base de cas*, *mesure de similarité*, *connaissances d'adaptation* [Richter, 1995] [Gomes et al., 2004].

¹ Le processus de *l'authoring* est une étape en amont des activités de résolution de problèmes. Il maintient la construction initiale de la base de cas et d'autres connaissances du système à partir de différentes ressources comme les documents, base de données ou transcription d'interview avec des praticiens du domaine.

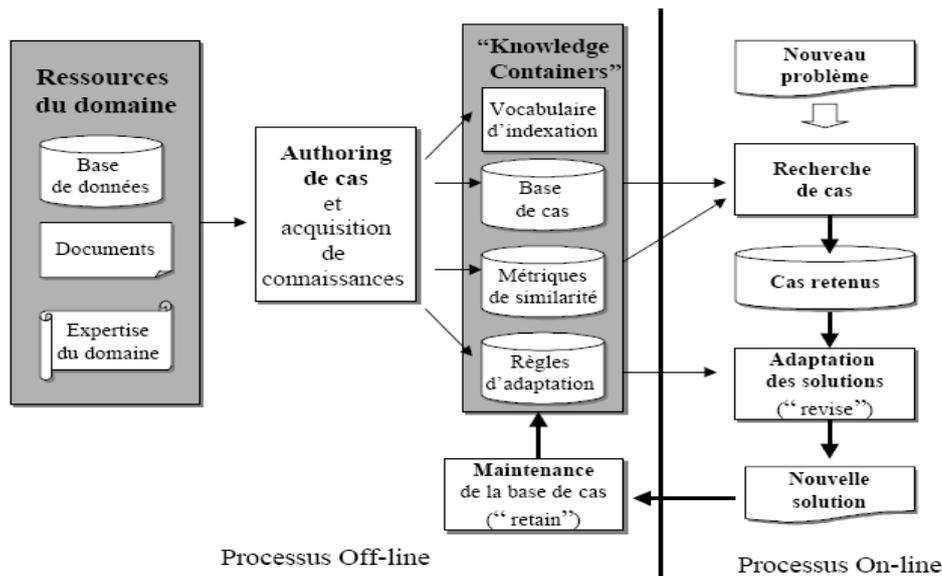


Figure 11. Modèle générique d'un système RàPC [Lamontagne & Lapalme, 2002]

Le *vocabulaire d'indexation* comprend un ensemble d'attributs qui caractérisent la description de problème et de solution du domaine. Ces attributs sont utilisés pour construire la base de cas et jouent un rôle important lors de la remémoration. La *base de cas* se compose de l'ensemble des expériences structurées, sous forme des cas, qui seront exploités par les phases de la remémoration, la réutilisation, la révision et la mémorisation. L'organisation des cas dans la base de cas peut être une organisation simple ou des hiérarchies. La *mesure de similarité* comprend la fonction de similarité et la ressemblance entre deux ou plusieurs cas. La *solution de transformation* se réfère à la connaissance utilisée dans les phases réutilisation et révisions du cycle du RàPC [Weber & Wu, 2004] [Lamontagne & Lapalme, 2002].

2.6. La formalisation et l'organisation des cas dans le système du RàPC

Après avoir vu les principes et l'architecture d'un système du RàPC, au cours de ce chapitre, nous verrons de quelle manière sont organisées les connaissances issues des cas ainsi que les différentes phases de construction de ces connaissances pour en créer un cas.

2.6.1. La résolution de problèmes et le système interprétatif

Selon Fuchs [Fuchs, 1997] il existe deux types de raisonnement dans le RàPC : les systèmes de *résolution de problèmes* et les systèmes *interprétatifs* (figure 12).

Dans les systèmes de *résolutions de problèmes*, le problème est décrit par l'énoncé d'un ensemble de données ou état initial, selon un but et une solution permettant d'atteindre ce but. Dans les *systèmes interprétatifs*, l'énoncé du but à satisfaire n'est pas formulé, mais il s'agit

de le découvrir par un mode d'évaluation des situations. Un système interprétatif élabore une justification en comparant et en établissant des relations entre problèmes

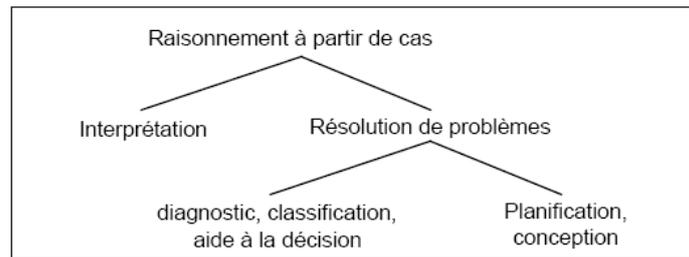


Figure 12. La classification des différents types de problèmes
[Source : Fuchs, 1997]

Dans le but d'effectuer le RETEX ainsi que ses deux champs d'application (résolution de problèmes, et capitalisation des connaissances liées à la réalisation de projets), nos travaux situent dans le domaine de la résolution de problèmes et plus précisément sur les systèmes liés au diagnostic des pannes industrielles et à l'aide à la décision.

Dans notre travail, le cas du diagnostic, un cas est décrit une situation de diagnostic qui est représenté par les symptômes observés et leurs valeurs. Le but est alors de résoudre un problème de panne et de trouver les causes de défaillances en proposant la bonne démarche de réparation.

2.6.2. Le modèle d'indexation des cas

L'indexation des cas consiste en une organisation de la mémoire afin d'attribuer des index au cas pour la future remémoration et comparaison. Le choix de l'indexation est important pour la remémoration des bons cas au bon moment. En effet, l'indexation d'un cas détermine dans le contexte du cas remémoré ultérieurement. L'indexation est ainsi une structure qui permet d'accéder aux cas de la base de cas plus rapidement en fonction d'éléments du contexte du problème cible. Le but est d'avoir une remémoration plus efficace en se basant sur les cas sources dont les solutions sont les mieux adaptées pour le problème cible. Les index servent à organiser la base de cas en groupes de cas que nous appelons classes de problèmes.

Les cas qui constituent ces classes peuvent être résolus en utilisant les mêmes connaissances d'adaptation. L'indexation est utilisée en phase de remémoration pour localiser plus rapidement une classe de problèmes à laquelle un problème cible sera rattaché. Dans la construction de la base de cas des systèmes du RàPC, la communauté de RàPC propose plusieurs lignes directives pour le choix des index adaptés à des cas particuliers: Ainsi,

- Chaque index doit être prédictif,

- Il doit être suffisamment résumé pour constituer un cas qui soit utile pour différentes situations ultérieures,
- Les index doivent être suffisamment concrets pour être reconnaissables dans de futures situations,
- Enfin, la prévision doit être utile [Kolodner, 1993, 1991].

2.6.3. Le modèle d'organisation des cas dans une base de cas

L'organisation de la base de cas a pour le but de faciliter la remémoration des cas similaires pour un problème rencontré. Selon Fuchs [Fuchs, 2008], il existe deux types d'organisation des cas dans une base de cas : l'*organisation simple* et l'*organisation hiérarchisée*.

Dans l'*organisation simple*, les cas sont stockés en « vrac » et sans organisation particulière. Lors de la remémoration de cas similaires pour un cas, il faut revoir l'ensemble des cas de la base de cas pour en sélectionner un. Ce type d'organisation peut être considéré lorsque le nombre de cas dans la base de cas est faible, mais ce mode d'organisation ne peut convenir lorsque le nombre de cas est plus important dans la base de cas, car le processus d'appariement peut s'avérer coûteux.

L'*organisation hiérarchisée* est choisie pour les bases de cas plus complexes. Ces modèles sont hiérarchisés de manière à procéder à la recherche d'un cas de façon plus sélective par un processus de discrimination ou de classification visant à restreindre l'ensemble des cas à considérer et appartenant à un sous-ensemble plus réduit. De cette manière, une partie de la base de cas n'est pas à considérer au moment de la remémoration.

Différentes organisations hiérarchiques ont été proposées. Ainsi, l'arbre de décision est une structure hiérarchique comportant des nœuds représentant des questions sous forme de tests sur des attributs, d'où partent des branches qui correspondent à des valeurs possibles de l'attribut testé. Au titre d'exemple, l'une des méthodes de construction pour un arbre de décision est la méthode inductive de l'algorithme ID3 de Quinlan [Quinlan, 1986]. Il s'agit d'un algorithme de classification supervisée. Cet algorithme construit des arbres de décision à partir de l'historique des cas. Il se base sur des exemples déjà classés dans un ensemble de classes pour déterminer un modèle de classification.

2.7. Les avantages et les limites du RàPC

La principale raison de la popularité du RàPC se fonde sur le fait que les systèmes antérieurs et traditionnels sont basés sur des règles comportant de nombreux inconvénients, tels que des difficultés dans l'acquisition des connaissances, une absence de mémoire de

résolution de problèmes ou de l'expérience, une mauvaise efficacité de l'inférence, une inefficacité à traiter des exceptions, une mauvaise performance de l'ensemble du système etc. [Ni et al., 2003]. A présent, nous pouvons citer les avantages des systèmes RàPC selon différents points de vue :

Le raisonnement dans des domaines qui n'ont pas été bien définis et modélisés. Dans une situation où il existe des connaissances insuffisantes ou incomplètes pour construire un modèle de causalité d'un domaine ou en tirer un ensemble heuristique, un système RàPC peut être développé en utilisant seulement de petits ensembles des cas du domaine [Pal et al., 2004].

La réduction des tâches d'acquisitions des connaissances. Le problème classique dans les systèmes de base de connaissances est de savoir comment élaborer les règles sur lesquelles les systèmes reposent. La règle du processus d'acquisition peut être laborieuse et peu fiable: il peut être difficile d'obtenir ces règles, par ailleurs, il n'y a aucune assurance que ces règles seront effectivement suffisantes pour caractériser les performances des experts [Leake, 1996]. En éliminant la nécessité d'extraction d'un modèle ou d'un ensemble de règles -ce qui est nécessaire dans des modèles ou des systèmes à base de règles- les activités d'acquisition des connaissances du RàPC reposent principalement sur la collection des expériences (cas) ainsi que sur leur(s) représentation(s) et leur mémorisation.

L'évitement des erreurs répétitives produites dans le passé [Noh et al., 2000]. Dans un système qui enregistre des échecs ainsi que des succès en y incluant les raisons des échecs, alors les informations sur les causes des échecs dans le passé peuvent être utilisées pour prévoir les défaillances potentielles à venir.

Fournir la flexibilité dans la modélisation des connaissances. En raison de la rigidité dans la formulation et la modélisation du problème, des systèmes de base de modèles peuvent parfois ne pas être en mesure de résoudre un problème qui est à la limite de leurs connaissances ou lorsque les données s'avèrent être incomplètes. En revanche, les systèmes du RàPC utilisent des expériences acquises antérieures comme le domaine de la connaissance. Ils peuvent souvent fournir à ces types de problèmes une solution raisonnable, à travers d'une adaptation appropriée [Pal et al., 2004].

L'amélioration de la qualité des solutions. Lorsque les principes d'un domaine ne sont pas bien compris, les règles vont être imparfaites. Dans cette situation, les solutions suggérées par les cas pourront être plus précises que celles proposées par des chaînes de règles. En effet, les cas reflètent ce qui se passe réellement dans un ensemble de circonstances [Leake, 1996].

L'apprentissage sans cesse. Les systèmes RàPC peuvent apprendre et s'enrichir par l'acquisition de nouvelles connaissances de cas [Seuranen et al., 2005]. Au fur et à mesure que les systèmes du RàPC sont utilisés, ils s'enrichissent de nouveaux problèmes et créent alors davantage de solutions [Watson & Marir, 1994].

Si la solution des cas est ensuite testée dans le monde réel et qu'un niveau de succès est déterminé pour ces solutions, ces cas peuvent être ajoutés à la base de cas et utilisées pour aider à résolution des problèmes ultérieurs. Au fur et à mesure les cas s'ajoutent dans le système, le système du RàPC devient capable de raisonner selon une plus grande variété de situations et avec un plus haut degré de raffinement et de réussite.

Le raisonnement dans un domaine avec peu de connaissance. Nous nous trouvons là dans un domaine de problèmes pour lequel seuls un petit nombre de cas sont disponibles. Ainsi, le processus du raisonnement peut commencer par ces quelques cas connus et construire alors progressivement sa connaissance en ajoutant de nouveaux cas. L'addition de nouveaux cas amènera donc le système à se développer selon une direction déterminée par les cas rencontrés lors de la résolution de problèmes.

Fournir un moyen argumentaire. Les systèmes du raisonnement à partir de cas peuvent fournir un cas antérieur et sa solution pour aider à convaincre un utilisateur, ou à justifier, une solution proposée au problème en cours. Un système du RàPC peut justifier la solution à un utilisateur en expliquant comment un cas antérieur a été réussi dans une situation. Pour expliquer ceci, il utilise les similarités entre les cas et le raisonnement impliqués dans l'adaptation.

L'extension dans plusieurs domaines. Les situations dans lesquelles le système du raisonnement à partir de cas peut être mis en œuvre, sont presque illimitées. Ainsi, il peut être utilisé pour atteindre de nombreux objectifs, tels que la planification, le diagnostic, les raisonnements juridiques, l'arbitration, le design, Par conséquent, les données traitées par un système du RàPC peuvent revêtir de nombreuses formes, de ce fait, les méthodes de la remémoration et de l'adaptation pourront également varier.

Le reflet de raisonnement humain. Il y a beaucoup de situations où nous - les humains - utilisons une forme de raisonnement à partir de cas. Il n'est donc pas difficile de convaincre les exécutants, les utilisateurs ou encore les gestionnaires de la validité de ce paradigme. Les humains peuvent comprendre le raisonnement et les explications d'un système du RàPC. Ils peuvent être convaincus de la validité des solutions qu'ils reçoivent par le système du RàPC.

Le processus du RàPC est proche d'un système de gestion des connaissances. Le processus suivi par le RàPC selon Dubitzky [Dubitzky, 1999] et Watson [Watson,

2001b] est proche des besoins d'un système de gestion des connaissances. Le RàPC est une approche intéressante pour la construction d'un système de base de connaissances car il évite les difficultés de modélisation du savoir-faire des experts en se focalisant sur l'acquisition de cas. De plus, il permet une évolution continue de la mémoire des cas par auto-alimentation : c'est-à-dire, une incorporation successive des nouveaux cas résolus [Dieng-Kuntz et al., 2001].

Toutefois, le RàPC possède également certaines limites que nous devons préciser. Il s'agit notamment de :

La limitation dans le contenu de la mémoire de cas. Une des limites du RàPC concerne le contenu de la mémoire de cas. Ce que nous venons d'expliquer suppose que l'ajout de nouveaux cas dans la base de cas augmente les performances de résolution de problèmes. Cependant, cela n'est vrai que dans une certaine limite. En effet, lorsque la taille de la base de cas devient trop importante, de plus en plus de cas doivent être considérés durant la phase de remémoration, ce qui se traduit alors par une baisse de performance du système [Cortes Robeles, 2006].

2.8. La relation entre l'innovation et le RàPC

Malgré les limites du RàPC que nous avons mises en évidence dans la section précédente, nous avons vu que ses avantages pouvaient néanmoins constituer une innovation certaine. Dans le cadre de cette section, nous nous proposons de faire le lien entre innovation et RàPC. Pour cela, nous allons définir ce qu'est un problème d'innovation technologique avant de réaliser une comparaison entre TRIZ et le RàPC. Nous verrons que le RàPC dispose principalement d'un espace d'inventivité et de créativité applicable à différents domaines et situations.

2.8.1. Qu'est-ce qu'un « problème d'innovation » dans un système RàPC ?

Le développement des systèmes industriels du RàPC est face à un défi. Les systèmes du RàPC doivent fonctionner davantage dans un environnement sans cesse en évolution. Les applications industrielles exigent de plus en plus des systèmes robustes et compétents. Lorsque le domaine de problèmes est en évolution, les solutions fournies et proposées par le système peuvent rapidement devenir moins adaptées, voire erronées. A titre d'exemple, nous pouvons mentionner les différentes générations d'un téléphone portable ou un ordinateur. Avec l'évolution technologique, chaque nouvel appareil pourra comporter de nouveaux composants. Les anciens composants de ces appareils pourront ainsi évoluer et être remplacés par de nouvelles générations du même composant. Ainsi avec des ajouts et des changements de nouveaux composants, les solutions proposées par le système pourront évoluer dans le temps.

Dans ce contexte, les « raisonnements à partir de cas continus »¹ sont fortement nécessaires [Aamodt, 1990b]. L'objectif du *raisonnement à partir de cas continus* est d'apprendre continuellement à partir de l'expérience issue des résolutions de problèmes. Comme il est affirmé par [Aamodt, 1990a], un système de *raisonnement à partir de cas continu* exige un modèle profond et fondamental de la connaissance du domaine, ainsi qu'un mécanisme de résolution de problèmes qui doit faire usage de cette connaissance.

L'évolution principale peut être identifiée selon deux manières en fonction des domaines des problèmes. La première de ces manières est le changement de type de problèmes : de nouveaux types de problèmes pourront devenir importants et des problèmes précédemment importants pourront devenir inadaptés ou non pertinents. La seconde manière est le changement du type de solutions : les mêmes types de problèmes qui ont été précédemment résolus en utilisant une solution d'un domaine spécifique peuvent avoir besoin d'un nouveau domaine de solution pour la résolution [Arcos, 2004].

Selon Arcos, les systèmes de conception dans le monde réel doivent incorporer des fonctionnalités pour prendre en compte l'utilisation des nouvelles conceptions de composants ou l'amélioration des composants déjà existants. Ce problème de conception est appelé par cet auteur un « *problème d'innovation* ». La stratégie pour résoudre un *problème d'innovation* est alors d'incorporer le processus de maintenance² dans les applications des systèmes du RàPC³ [Wilson & Leake, 2001].

Dans une base de cas, nous pouvons classer les cas en deux catégories : des « *problèmes Habituels* » et des « *problèmes Occasionnels* » [Arcos, 2004]. Les *problèmes Habituels* sont des problèmes qui sont résolus périodiquement par le système. Les *problèmes Occasionnels*, quant à eux, sont des problèmes qui sont rarement résolus par le système. Dans les *problèmes Habituels*, la stratégie consiste à se concentrer uniquement, sur les dernières solutions qui peuvent être appropriées. Le principal problème se révèle avec les *problèmes Occasionnels*: lorsqu'un nouveau *problème Occasionnel* cible doit être résolu, généralement seules d'anciennes solutions peuvent être trouvées dans la base de cas. De même, un système d'inférence de RàPC qui utilise seulement des solutions de cas précédents peut produire des solutions de faible qualité.

Les techniques les plus couramment utilisées pour faire face aux changements dans le domaine de l'environnement sont les techniques de maintenance des cas pour la réorganisation

¹ Sustained Case-Based Reasoning

² We define *case-base maintenance* (CBM) as the process of refining a CBR system's case base to improve the system's performance: "Case-base maintenance implements policies for revising the organization or contents (representation, domain content, accounting information, or implementation) of the cas-base in order to facilitate future reasoning for a particular set of performance objectives" [Leak & Wilson, 1998].

³ Pour avoir plus d'informations dans ce domaine ils existe également des référence suivantes : [Reinartz et al., 2000] [Markus et al., 2001] [Watson, 2001a].

de la base de cas. Le succès de tous les systèmes du RàPC dépend ainsi de l'ensemble de ses connaissances (« knowledge container ») et portent notamment sur la mesure de similarité ou de la connaissance de la remémoration ainsi que sur la connaissance de l'adaptation [Richter, 1998]. La politique utilisée dans la conception ou la configuration des problèmes est l'amélioration de la connaissance de l'adaptation en intégrant des règles pour le composant de substitution: ainsi, lorsqu'un nouvel élément est introduit dans le modèle d'une solution précédente qui se substitue à un composant existant, la nouvelle règle est intégrée dans la connaissance d'adaptation.

Cependant, tous les changements de solution ne peuvent pas se réduire à l'intégration de nouveaux composants. Un type de modification est l'amélioration d'un composant préexistant. Le principal problème rencontré lors de ces améliorations porte sur le fait que ces améliorations sont généralement fondées sur des exigences spécifiques du problème.

2.8.2. Une étude comparative entre des approches RàPC et TRIZ

Nous venons de voir les manières de renouveler la base de cas au fur et à mesure que le système concerné évolue. En matière d'innovation, la résolution de problèmes fait parfois appel à la théorie TRIZ. Nous analysons donc ci-après le lien entre RàPC et TRIZ.

La TRIZ, « Théorie de Résolution de Problèmes Inventifs » ou « Théorie de Résolution de Problèmes d'Innovation » est la traduction de l'acronyme russe TRIZ [Altshuller, 1988]. Selon Altshuller [Altshuller, 1999], l'innovation en tant qu'activité inventive représente le dépassement total ou partiel d'une contradiction. De ce fait, les contradictions qui se manifestent lors de la résolution d'un problème technique, peuvent être employées comme un moyen pour propulser l'innovation. Par conséquent, le modèle TRIZ se concentre sur ce type de problèmes dits *inventifs* car il existe au moins une contradiction.

La théorie du TRIZ est capable d'aborder les problèmes en utilisant des analogies génériques, et permet également de guider la créativité des individus lors de la résolution d'un problème. On retrouve donc ici un des fondements du RàPC. Le processus de résolution de problèmes par TRIZ consiste à transformer le problème initial spécifique en un modèle standard de problème. Le TRIZ offre la possibilité d'accéder à une synthèse des meilleures pratiques dans plusieurs domaines et facilite de ce fait, le transfert des solutions entre domaines.

Dans TRIZ, tout problème peut se formuler en termes de *contradictions*. Une contradiction surgit lorsque deux exigences ou besoins d'un produit ou d'un processus sont mutuellement exclusifs, mais doivent cependant rester associés pour concourir au même objectif. La résolution de la contradiction (par les outils adaptés) élimine l'élément préjudiciable suscitant le conflit, contrairement aux démarches classiques qui favorisent le

compromis. TRIZ inclut une base théorique et un répertoire d'outils qui aident les individus à inventer et à résoudre les problèmes complexes de façon systématique [Cortes Robles et al., 2008].

TRIZ ne remet pas en cause la créativité propre de l'individu, mais hisse ses capacités pour avoir des idées à un niveau supérieur en l'orientant dans la bonne direction et en lui proposant des solutions génériques pour que l'effort de créativité prenne alors le relais et transpose ces ébauches d'idées au problème (figure 13).

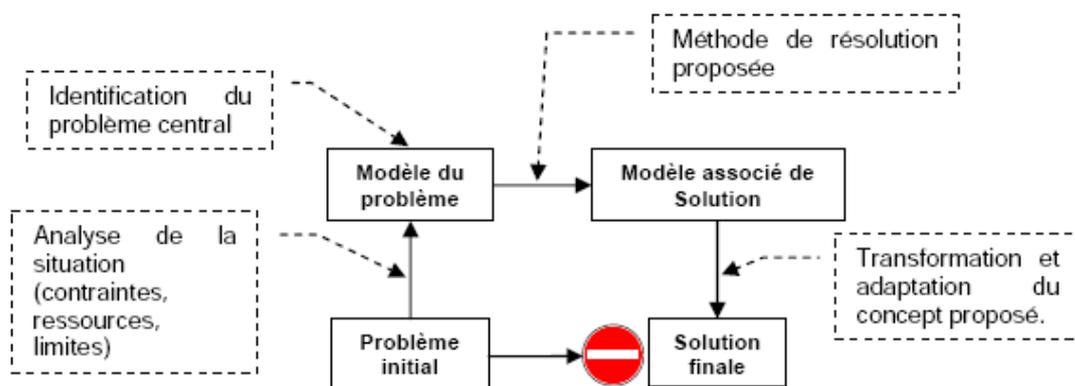


Figure 13. Approche de résolution de problème par TRIZ [Source : Cortes Robles , 2006]

Nous pouvons aborder les points suivants afin de présenter la complémentarité des approches RàPC et TRIZ :

Le RàPC et le TRIZ, sont tous deux basés sur le raisonnement par analogie dans leurs démarches de résolutions de problèmes. Cependant, le RàPC est spécifique à un domaine tandis que le TRIZ utilise des analogies transférables entre domaines, ce qui accroît la possibilité d'obtenir des solutions innovantes.

Le caractère très général de TRIZ, permet de proposer une solution quelle que soit la situation de la problématique rencontrée. En revanche, dans le RàPC, il est nécessaire d'avoir un cas source similaire déjà résolu.

Un système RàPC possède une mémoire qui permet de proposer des solutions à partir de la base de cas. Cette mémoire est ainsi utile pour stocker des erreurs, ce qui permet de prendre les mesures adéquates pour éviter de les répéter ultérieurement. Dans la théorie TRIZ, l'absence de mémoire oblige l'utilisateur à réaliser une analyse fine du problème pour déterminer la nature de conflit et l'outil pertinent à utiliser [Cortes Robles, 2006].

La figure 14 représente les différentes étapes de la résolution de problème dans la mémoire TRIZ-RàPC :

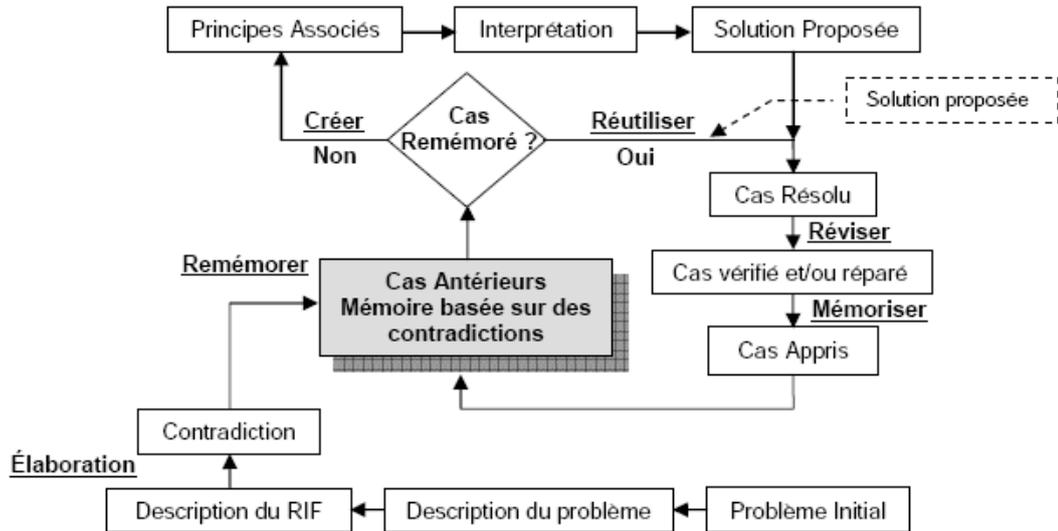


Figure 14. Le processus de résolution de problème dans l’approche TRIZ-RàPC [Source : Cortes Robles et al., 2008]

Dans ce modèle, le Résultat Idéal Final (RIF) est un concept psychologique qui permet de trouver une alternative simple à la résolution face à un problème complexe. Dans l’approche TRIZ-RàPC, TRIZ offre la connaissance générale et la structure initiale afin de produire un support pour indexer un cas tandis que le Règle à Partir (RàPC) propose les techniques pour rechercher et comparer un problème résolu précédemment. Ainsi, l’approche TRIZ-RàPC est une structure qui combine deux types de connaissances : l’une générique provenant de différents domaines, l’autre spécifique à un domaine dans le même système [Cortes Robles et al., 2008].

La créativité fait partie de la nature du Règle à Partir (RàPC), puisque celui-ci offre un environnement où il est possible d’adapter de nouvelles idées à un contexte spécifique, de les réinterpréter, de combiner différents concepts, d’expliquer et d’évaluer de nouveaux concepts. [Will & Kolodner, 1994]. Selon Lopez [Lopez De Mantaras & Plaza, 1997], ces caractéristiques ont un lien étroit dans le processus de la créativité. Néanmoins, même si la créativité est présente dans le Règle à Partir (RàPC), ce dernier ne possède pas de structure pour guider les efforts créatifs des utilisateurs lors de la résolution d’un problème ne trouvant pas de cas similaire dans la mémoire, cela même si des procédés de génération de solution alternative peuvent être ajoutés au Règle à Partir (RàPC).

L’innovation en effet concerne parfois des problèmes n’appartenant pas à l’espace initial des problèmes déjà rencontrés, ainsi que des concepts de solutions n’appartenant pas à l’espace des solutions déjà traité [Aït-El-Hadj & Boly, 2009]

2.8.3. RàPC : une approche inventive

Nos propos démontrent que le RàPC peut ainsi être une approche inventive. En effet, l'innovation peut apparaître pendant les deux phases d'un système RàPC : la phase de « remémoration », comme cela apparaît également dans l'approche de TRIZ, et la phase de la « mémorisation et l'apprentissage » dans un processus *de raisonnement à partir de cas continu* ou la *maintenance du RàPC*. Cette activité inventive réside essentiellement dans une tentative de « combiner différemment » des concepts pré-existants, ou, de transférer un concept de solution pré-existant à un nouveau problème au nouveau domaine.

Le RàPC est donc une approche qui est capable d'intégrer différentes techniques et des modèles hybrides dans son processus de résolution de problèmes. Cela permet de créer des challenges parmi les chercheurs de différents domaines scientifiques en l'impliquant plus en plus des nouveaux outils et technique.

2.9. Les domaines d'application du RàPC

Nous représentons au travers de ce tableau une synthèse de l'évolution ainsi que les différents domaines d'application du RàPC depuis sa naissance.

| Auteurs | Année | Méthode/ Système | Domaine de l'application du RàPC |
|------------------|-------------|---|--|
| Schnak | 1982 | Memory Organisation Packets (MOPs) Theory | Problem solving & learning |
| Kolodner | 1983 | CYRUS (première système du RàPC) | Modèle de mémoire dynamique & MOP théorie de résolution de problème et l'apprentissage |
| Simpson | 1985 | MEDIATOR | Arbitrage |
| Hammond | 1986 | CHEF | Réparation et adaptation |
| Bain | 1986 | JUDGE | Raisonnement juridique |
| Sycara | 1987 | PERSAUDER | Arbitrage |
| Collins | 1987 | COACH | Réparation et adaptation |
| Farrel | 1987 | DECIDER | Enseignement |
| Alterman | 1988 | PLEXUS | Adaptation |
| Sharma & Sleeman | 1988 | REFINER | knowledge acquisition |
| Ashely | 1988 | HYPO | Raisonnement légaux |
| Koton | 1989 | CASEY | Diagnostic |
| Navichandra | 1989 | CYCLOPS | Design |
| Goodman | 1989 | BATLE | Planification |
| Althoff | 1989 | MOLTKE | Diagnostic |
| Bareiss | 1989 | PROTOS | Diagnostic |
| Mostow et al. | 1989 | BOGART | Adaptation |
| Strube | 1990 | Event project | The role of episode knowledge in cognitive models |
| Aamodt | 1989 & 1991 | CREEK | L'aspect apprentissage du RàPC dans l'acquisition des connaissances) |
| Branting | 1991 | GREBE | Raisonnement juridique |

| Auteurs | Année | Méthode/ Système | Domaine de l'application du RàPC |
|--------------------|-------|------------------|--|
| Richter & Weiss | 1991 | PATDEX | Diagnostic |
| Simoudis | 1992 | CASCADE | Diagnostic |
| Redmond | 1992 | CELIA | Adaptation |
| Goel | 1992 | KRITIK | Adaptation |
| Hinrichs | 1992 | JULIA | Design |
| Sycara et al. | 1992 | CADET | Design |
| Pearce et al. | 1992 | ARCHI | Design |
| Moorman | 1992 | ACBARR | Adaptation |
| Oehlmann | 1992 | IULIAN | Theory revision |
| Skalak | 1992 | CABARET | Combination du RàPC & RBR |
| Lopez & Plaza | 1993 | BOLERO | Planification |
| Costas & Kashyap | 1993 | TOTLEC | Planification |
| Watson & Abdullah | 1994 | PAKAR | Diagnostic |
| Mille & Fuchs | 1995 | PAD'IM | Supervision industrielle |
| Breslow & Aha | 1997 | NaCoDAE | Aide à la décision conversationnelle dans la Marine |
| Lieber & Napoli | 1997 | Resyn/RàpC | Aide à la conception de plan de synthèse en chimie organique |
| Badra et al. | 2006 | KASIMIR | Gestion des connaissances décisionnelles en cancérologie |
| Mille & Herbeaux | 2007 | ACCELEBRE | Aide à la conception de caoutchouc cellulaire |
| Caulier & Delepine | 2007 | SACRE | Aide à la capitalisation et la réutilisation d'expérience de supervision |
| Despres | 2007 | S3A | Aide à l'analyse d'accidents dans le domaine d'assurance |

Tableau 3. Tableau de l'évolution du Raisonnement à Partir de Cas [Source : Notre recherche]

2.10. Les modèles de RàPC

Nous venons d'expliquer le RàPC du point de vue d'une approche inventive. Nous l'avons donc comparé avec l'approche TRIZ. Nous expliquons par la suite les modèles du RàPC. Il existe trois modèles pour le raisonnement à partir de cas : les modèles *structurel*, *textuel* et *conversationnel*. Nous présenterons dans les paragraphes suivants chacun de ces trois modèles puis nous décrirons plus en détail le RàPC Conversationnel qui est le modèle le plus proche de notre questionnement.

2.10.1. Le modèle structurel

Dans le modèle structurel, toutes les caractéristiques importantes pour décrire un cas sont déterminées à l'avance par le concepteur du système. Ainsi, le concepteur élabore un modèle de données du domaine applicatif. À partir de ce modèle de données, les cas sont complètement structurés et représentés tels des paires « attribut, valeur ». D'un point de vue applicatif, un attribut représente une caractéristique importante du domaine d'application. Les échelles de valeurs les plus fréquemment utilisées pour structurer les attributs sont les

entiers/réels et les symboles. La représentation des cas peut être sur un seul niveau¹ (simple) ou sur plusieurs niveaux (hiérarchiques). La similarité entre deux cas est mesurée en fonction de la distance entre les valeurs de mêmes attributs. Tous les travaux sur l'adaptation de cas sont menés dans le cadre du modèle structurel. L'adaptation peut varier d'une simple substitution de la valeur d'un attribut jusqu'à la restructuration complète d'une solution [Lamontagne & Lapalme, 2002].

2.10.2. Le modèle textuel

Selon Lamontagne [Lamontagne, 2004], les travaux sur le raisonnement à partir de cas textuels portent sur la résolution de problèmes à partir d'expériences dont la description est contenue dans des documents textuels. Dans cette approche, les cas textuels sont soit non-structurés ou semi-structurés. Ils sont non-structurés si leur description est complètement en langage naturel². Ces cas sont semi-structurés lorsque le texte est découpé en plusieurs portions étiquetées par des descripteurs tels que « problème », « solution ». Un cas textuel non-structuré est un cas dont le seul attribut est textuel tandis qu'un cas textuel semi-structuré est un cas dont un sous-ensemble de ses attributs est textuel. Il existe deux pôles dans les différents travaux en RàPC textuel : la *structuration de cas textuels* qui représente les textes selon un nombre limité d'index basés sur des caractéristiques du domaine (concepts, catégories, sujets, mots-clés), et l'*extension du modèle de recherche d'information* qui travaille sur l'élaboration de mécanismes de recherche plus sophistiqués tout en gardant le processus d'indexation le plus simple possible. Le choix des index de cas est déterminé à partir de la fréquence de mot-clés.

2.10.3. Le modèle conversationnel

Dans l'approche structurelle (approche traditionnelle), un problème doit être écrit complètement avant de commencer la recherche dans la base de cas.

Le modèle conversationnel permet de définir progressivement le problème avec une brève description d'un problème dès le départ ainsi qu'une série de questions-réponses. Par la suite cela permet de préciser au fur et à mesure le problème à résoudre. Le modèle conversationnel est l'un des modèles de RàPC le plus répandu parmi les applications commerciales du RàPC.

2.11. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons expliqué notre choix d'utiliser le raisonnement à partir de cas comme une approche dans le retour d'expérience et la résolution de problèmes. En premier, nous avons présenté un état de l'art des travaux réalisés dans le RàPC. Notre exposé

¹ Cf. Paragraphe 2.6.3. du présent chapitre

² Free-text

sur le RàPC nous amène à connaître les principes du RàPC, son cycle mais aussi la structure des tâches à réaliser dans un système du RàPC. Ceci est présenté de deux façons : RàPC classique et RàPC amélioré. En expliquant RàPC comme un raisonnement par analogie se basant sur les expériences antérieures nous permet d'ores et déjà affirmer que le RETEX repose sur la remémoration de cas similaires en vue de leur réutilisation avec une adaptation face à un nouveau problème rencontré par l'entreprise.

Nous pouvons dire que le RàPC pourra être comme une approche pour accélérer l'innovation. Les liens entre le TRIZ et RàPC confirment que le RàPC pourra être considéré une approche innovante. Nous pouvons donc en tirer la conclusion que le RETEX pourra ainsi contribuer au processus de l'innovation.

Finalement, nous avons présenté les modèles du RàPC. Parmi ces modèles nous avons choisi le RàPC Conversationnel. Le choix de ce modèle est en rapport avec notre problématique industrielle. Ce qui nous amène à plus exprimer ce modèle dans le troisième chapitre. Dans le chapitre 3 nous focalisons nos travaux sur le modèle RàPC Conversationnel.

CHAPITRE 3 :

LE RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS CONVERSATIONNEL ET SES APPLICATIONS EN DIAGNOSTIC INDUSTRIEL

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons en détail le modèle du Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel (RàPCC) et ses caractéristiques. En effet, ce modèle met en interaction l'utilisateur et le système afin de définir progressivement le problème et la solution associée. Le RàPCC est plus avantageux par rapport au modèle classique du RàPC, plus particulièrement pour traiter des problèmes qui ne sont pas définis complètement initialement ; ce qui correspond à nos travaux de recherche comme le diagnostic des pannes. Nous avons voulu vérifier l'intérêt de cette interaction dans une démarche de diagnostic.

Après la description du processus de RàPC Conversationnel et ses caractéristiques, nous présentons ce qu'est un « cas conversationnel ». Seront exposés également quelques conseils pour concevoir une bonne base de cas mais aussi comment améliorer l'interaction entre un système de RàPCC et l'utilisateur. Une description des relations sémantiques liées à la question en RàPCC nous permettra de mieux choisir les questions dans une interaction avec l'utilisateur dans notre application industrielle. Enfin, nous avons réalisé une étude analytique sur les tâches réalisées en RàPCC. Ceci nous amène à mieux comprendre les relations et les regroupements des questions ainsi la mise en place des cas dans une base de cas.

Nous présenterons ensuite le diagnostic industriel et sa classification. Finalement, nous montrons quelques systèmes de diagnostic en RàPC et RàPCC.

3.2. Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel (RàPCC)

3.2.1. Définition de la conversation dans le RàPCC et son historique

Dans la plupart des systèmes RàPC, il est prévu que l'utilisateur, au départ, décrive le problème dans son entier (requête¹) avant de commencer la recherche des cas dans la base de cas. Le Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel a été proposé pour réduire l'écart de connaissance entre les utilisateurs et les bases de cas dans les systèmes RàPC [Aha, et al., 2001]. Ainsi, si les utilisateurs ne sont pas capables de donner une bonne description de leur problème (requête), le système RàPC ne sera pas capable de trouver des cas antérieurs similaires et pertinents. Les approches du RàPCC sont appropriées lorsque les utilisateurs ont des idées peu précises sur leur problème au début du processus de remémoration [Gomez-Gauchia et al. 2006a]. Le système guide l'utilisateur pour qu'il comprenne mieux son problème et qu'il sache quels aspects il doit décrire. Par conséquent, les systèmes RàPCC

¹ Query (en anglais) : Mot ou groupe de mots, parfois combinés à des opérateurs logiques, qui sont utilisés pour lancer une recherche d'information dans un outil de recherche, afin de trouver les pages web sur le sujet recherché. Une requête dans une base de données correspond à l'interrogation d'une base pour récupérer une certaine partie des données.

fournissent des moyens pour dialoguer et guider les utilisateurs afin d'affiner progressivement leur description de problème à travers une séquence de questions-réponses.

Selon Gupta [Gupta & Aha, 2007], la *Conversation* dans un système RàPC est un échange coopératif entre le système et son utilisateur afin de formuler des requêtes pour une remémoration efficace des cas et la résolution de problèmes. Il faut considérer le processus de formulation de requête comme une partie intégrante des tâches de résolution de problèmes. Prenons des exemples : pour une tâche de diagnostic médical, il s'agit d'observer et de préciser les symptômes et les résultats d'essai, tandis que pour le raisonnement juridique, il peut impliquer la description des charges et des arguments pour et contre du défendeur. Pour une tâche de planification, la formulation des requêtes peut se concentrer sur la spécification des caractéristiques des états initiaux ou des objectifs (exp. description de situation). La *conversation* consiste généralement en un utilisateur qui identifie un premier ensemble de descripteurs, suivi par un processus itératif dans lequel le système incite l'utilisateur à un ensemble de descripteurs supplémentaires à considérer. L'utilisateur sélectionne parmi ces propositions celles qui lui paraissent valides. Dans chaque itération, la requête est éditée [Aha et Gupta, 2003].

En 1996, pour la première fois, les membres du « Vertical Launching System Engineering Division » (VLSED) de la « Naval Surface Warfare Center » en Californie, se posaient des questions pour savoir comment faire pour assister les personnels de maintenance en diagnostic de pannes. VLSED a livré une application pour le « Navy's Fleet Technical Support Centers » (FTSCs) qui permettrait à des experts à partir d'un diagnostic de résoudre certains défauts pour le Vertical Launching System. VLSED a développé son système d'application en se basant sur le RàPCC¹.

3.2.2. Description du RàPCC et son processus

Un système RàPCC propose un dialogue « à Mixed-initiative » avec l'utilisateur pour développer progressivement une *requête* ou la *description du problème*. Les systèmes RàPCC mises sur l'interaction entre l'usager et le système, à travers un ensemble de *questions-réponses*, pour définir progressivement le problème à résoudre et pour sélectionner les solutions plus pertinentes² [Giampapa & Sycara, 2001]. Il demande, au départ, à l'utilisateur d'introduire une brève description du problème dans un format textuel en langage naturel³. Le système prend ensuite en charge l'évaluation interactive du problème pour construire des questions. Au cours de cette conversation, le système classe et affiche progressivement les

¹ Parmi les application réussies dans le système du RàPCC, nous pouvons citer le service clientèle [Acron & Walden, 1992], le service dépannage [Gupta, 1998], le développement de vente par internet pour une webshop e-commerce [Shimazu, 2002], des tâches d'e-commerce [Shimazu et al., 1994].

² A propos de ce sujet, il existe ainsi les références suivantes : [Göker et al., 1998], [Shimazu, 1994]

³ Free-text

solutions des cas ayant un niveau d'appariement plus élevé. Donc, l'utilisateur ne doit répondre qu'à des questions posées par le système. La figure 15 représente le processus général d'un système RàPCC [Aha et al., 2001]. La remémoration des cas continue jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de questions ou bien que l'utilisateur est satisfait de l'ensemble des cas remémorés.

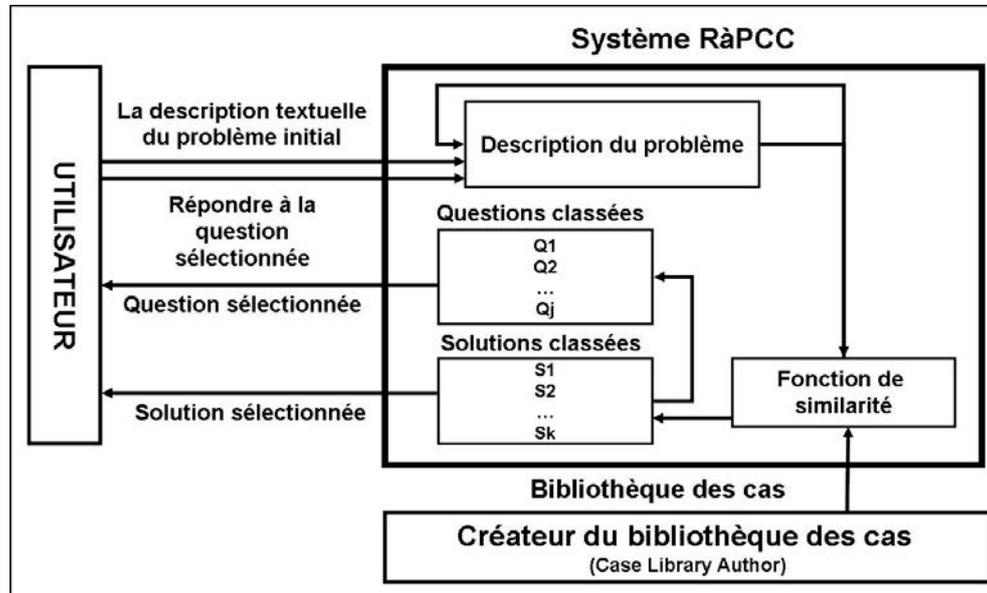


Figure 15. Le processus générique de la résolution de problème en RàPCC
[Source : Aha et al., 2001]

Le système apparie cette requête avec des cas stockés, dont chacun comprend une description du problème (constitué d'un texte et d'une série de *questions-réponses*) et une solution. Le système répond en affichant un ensemble ordonné de cas similaires le plus appariés au cas cible. La liste de questions-réponses de chaque cas a tendance à aller du cas général au cas particulier [Gupta, 2001]. Toutefois, les questions-réponses peuvent également être liés temporellement, ou par d'autres types de dépendances [Aha & Gupta, 2002] ; ceci est dû au fait que, dans des cas tels que le dépannage, ou le service clientèle, où le RàPCC est utilisé, l'aide à la décision est souvent représentée de manière séquentielle avec une séquence de collectes d'informations, ou une séquence de processus de résolution de problème. Par exemple, dans une application qui aide les utilisateurs à résoudre des problèmes concernant les télécommandes de la télévision, il est nécessaire de vérifier « *Y a-t-il des piles dans la télécommande?* » avant de vérifier « *Est-ce que les piles de la télécommande sont neuves?* » ou de contrôler « *Est-ce que les piles ont été positionnées correctement?* ». Il est clair que cette dépendance stricte exige que les deux dernières questions ne doivent pas être posées avant de recevoir la réponse à la première question. En outre, la première question ne doit pas être posée si l'utilisateur a répondu à l'une des deux dernières questions. Cet exemple illustre des dépendances strictes ; il peut y avoir des dépendances non-strictes qui reflètent une commande partielle désirée. Par exemple, une application de e-commerce pour choisir un

appartement peut exiger que le nombre de chambres soit spécifié avant de préciser le nombre de salles de bain et de places de parking [Gupta et al., 2002].

La popularité des systèmes RàPCC est le résultat de leur capacité à acquérir des requêtes de plus en plus incrémentales et interactives décrivant les problèmes des clients. En outre, ils offrent un énorme avantage aux utilisateurs du système ; il suffit de guider les clients par le biais d'une série déterminée de questions, mais ils ne doivent pas être des experts en résolution de problèmes de la tâche elle-même, ce qui peut être intéressant pour les utilisateurs novices.

Les systèmes RàPCC dialoguent de façon itérative avec un utilisateur dans une *conversation* afin de résoudre une requête, définie comme l'ensemble des questions sélectionnées et répondues par l'utilisateur au cours d'une conversation. Au cours de chaque itération, l'utilisateur est incité à choisir deux affichages et sélectionner un élément à partir de l'un d'entre eux. Le premier affichage montre une liste classée de questions. L'utilisateur peut sélectionner et répondre à la question de son choix. Le deuxième affichage montre une liste des cas classés par une similarité à la requête de l'utilisateur. L'utilisateur peut choisir n'importe quel cas à partir de cette liste pour la remémoration. La conversation finira lorsque l'utilisateur aura choisi un cas. Chaque réponse à une question met à jour la requête et le classement dans les deux affichages. Les questions peuvent être classées de nombreuses façons, par exemple en fréquence d'apparitions d'évènement dans le classement des cas, ou par une classification dans les cas-mêmes (les questions classées le plus élevée sont ceux du premier cas).

La solution d'un cas est une séquence d'actions. Par exemple, lors du diagnostic de pannes d'imprimante, des questions pourraient se référer à l'affichage de l'imprimante ou au statut du chargeur du papier, tandis que l'action pourrait être de remplir le bac, débloquer la machine, ou perdre tout espoir ! Les cas sont supposés être regroupés par thème, et peuvent être distingués par un nombre de questions clés du *contexte*. Les cas devraient être conçus de telle sorte que les questions de contexte sont affichées en premier, et les questions de faible niveau de détail sont affichées plus tard. Ce classement encourage les utilisateurs à suivre cette commande au cours de la phase de *conversation* [Aha & Breslow, 1997].

Gu [Gu, 2005] a une autre représentation des systèmes RàPCC. Selon cet auteur, comme illustré dans la figure 16, un utilisateur fournit sa première description du problème qui est transformée comme un premier nouveau cas. Le système RàPCC utilise le premier nouveau cas afin de remémorer le premier ensemble de cas plus similaires, et identifie un groupe de descripteurs pour ces cas afin de générer des *questions discriminantes*. Les descripteurs apparaissant dans la remémoration de ces cas sont transférés comme *questions discriminantes*, car aucune valeur n'est attribuée à ce nouveau cas. A titre d'exemple, dans les cas actuellement remémorés, il y a un descripteur « insérer la dimension de l'image » qui est

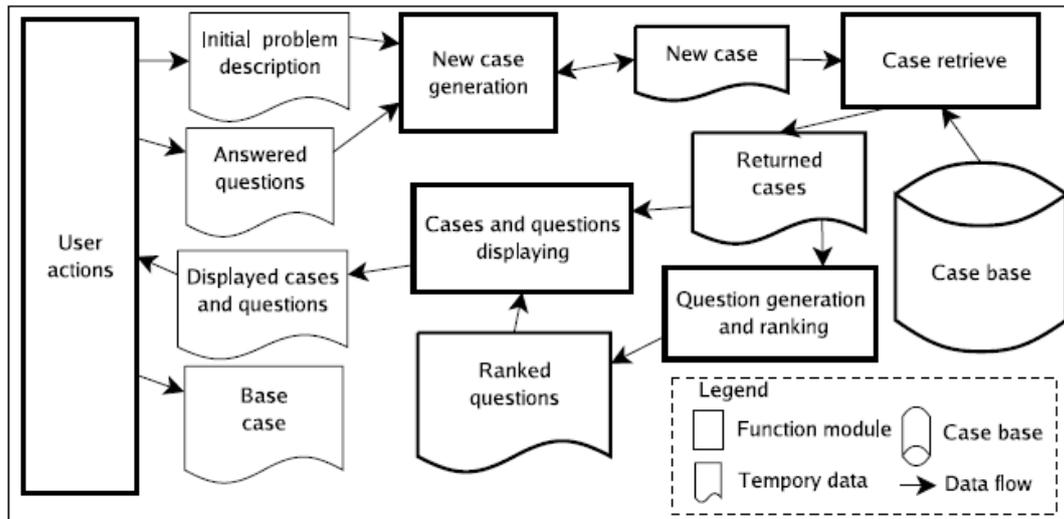


Figure 16. Le Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel [Source : Gu, 2005]

utilisé pour décrire combien de dimensions devraient posséder les images d'entrées du composant du logiciel correspondant. Aucune valeur n'est attribuée à ce descripteur dans le nouveau cas. Donc une question discriminante sera « combien de dimensions souhaitez-vous attribuer pour l'image d'entrée du composant désiré? » Les cas mémorisés ainsi que les questions discriminantes identifiées sont classés et montrés à l'utilisateur. L'utilisateur découvre ainsi le cas source pour terminer le processus de mémorisation ou choisir une question. Une mise à jour de nouveaux cas est construite en combinant le nouveau cas précédent avec la réponse à la nouvelle question. Le processus de mémorisation et des questions-réponses se répète jusqu'à ce que l'utilisateur trouve le cas source approprié ou qu'aucune question discriminante ne soit disponible.

3.2.3. Description d'un « cas » conversationnel

Un « cas » conversationnel est constitué de deux parties :

- Le **problème** est Ca_{S_p} ; il est encodé sous la forme : $Ca_{S_p} = Ca_{S_D} + Ca_{S_{QR}}$ et a pour solution Ca_{S_s} .
 - Ca_{S_D} : est une brève description textuelle de la nature du problème « cible » exprimé,
 - $Ca_{S_{QR}}$: est une série de questions et de réponses. La description du problème et ses questions-réponses sert d'index. Chaque question a un poids proportionnel à son importance par rapport au cas.
- La **solution** Ca_{S_s} : est une séquence d'« actions » pour répondre au problème en cours de résolution. Une action est une description textuelle de la solution à mettre

en œuvre pour ce problème. Cette description n'est pas structurée (*langages naturel*).

Cette représentation de cas est donc une extension du modèle RàPC structurel avec des attributs de trois types : *description*, *questions*, *actions*. Dans la résolution du RàPC conversationnel, l'interaction entre le système et l'utilisateur se fait comme suit [Lamontagne, 2004]:

- l'utilisateur fournit au système une brève description textuelle du problème à résoudre et le système calcule la similarité entre cette description et la section "problème" des cas. Le système propose alors à l'usager une série de questions.
- l'utilisateur choisit les questions auxquelles il souhaite répondre. Pour chaque réponse fournie par l'usager, le système réévalue la similarité de chacun des cas. Les questions n'ayant pas reçu de réponse sont présentées par ordre décroissant de priorité.
- Lorsqu'un des cas atteint un niveau de similarité suffisamment élevé (i.e. qu'il franchit un seuil), le système propose ce cas comme solution. Si aucun cas n'atteint un degré de similarité suffisant et que le système n'a plus de questions à poser à l'usager, le problème est stocké comme étant non résolu.

D'après Aha [Aha et al., 2001] [Jurisica, et al., 2000] [Aha & Breslow, 1997], il existe deux types de mesures qui évaluent la performance du RàPCC : la première est la « *précision* », définie lorsque l'action du cas remémoré résout la requête de l'utilisateur. La deuxième est l' « *efficacité* », et correspond au nombre de questions posées avant que la remémoration ait lieu (c'est-à-dire, moins de questions sont posées, plus le RàPCC est efficace).

Pour avoir un système RàPCC efficace, le système doit inférer automatiquement les détails de la description du problème à partir du texte de l'utilisateur, et plus généralement inférer ces informations quand c'est possible, au cours de la phase de *conversation*. Autrement dit, l'utilisateur sera incité à répondre à des questions auxquelles il a déjà implicitement répondu. Une solution commerciale à ce problème d'*inférence de dialogue*¹ [Aha & Breslow, 2001] et [Aha et al., 1998] exigent du concepteur de la base de cas de fournir un ensemble complet et exact de règles d'inférence indépendantes. L'inférence de dialogue est le processus de connaissance du domaine et des aspects d'inférence d'un problème de l'utilisateur à partir de sa description partielle. Les outils du RàPCC devraient inférer automatiquement les détails de la description du problème (ex. répondre aux questions) à partir des données introduites par l'utilisateur au cours d'une phase de

¹ Dialogue inferencing

conversation. Certains outils des systèmes RàPCC utilisent les raisonnements à base de règles afin de tirer automatiquement des inférences.

3.2.4. Quelques conseils pour concevoir une bonne base de cas

La construction de cas¹ est l'art de concevoir de bonnes bases de cas. Inference [Inference, 1995] a listé des 46 règles pour construire les bases de cas des systèmes RàPCC, dont :

1. Réutiliser des questions lorsque c'est possible
2. Lancer la commande *contexte* avant les *détails* des questions
3. Éliminer les questions pas assez discriminantes
4. Demander une seule *action* par question
5. Utiliser un faible nombre de questions par cas.

Lorsqu'on les analyse séparément, chaque règle semble raisonnable et apporte une bonne performance en RàPCC. Par exemple, la règle numéro 1 distingue les cas similaires par une question commune. La règle numéro 2, encourage les auteurs des cas à les grouper dans des thèmes différents par quelques questions-clés sur le *contexte*, et à séparer un sous ensemble potentiel de cas pertinents sans éliminer de cas. La règle numéro 3, consiste à éliminer les questions inutiles, ce qui permet d'augmenter l'*efficacité de la conversation*², et parfois, la précision de la remémoration (par exemple : réduire le nombre de questions qui doivent être posées aux utilisateurs avant de la remémoration de la bonne solution), [Wettschereck, et al., 1997]. Bien que ces règles soient individuellement raisonnables, leur utilisation pose des problèmes pour deux raisons : tout d'abord, ces règles peuvent amener des contradictions peu évidentes à résoudre pour des novices. A titre d'exemple, la réutilisation des questions est importante (règle numéro 1), les cas ne doivent pas être décrit par plusieurs questions inutiles (règle numéro 5) ce qui impliquerait une baisse de l'efficacité et de la précision de remémoration. De plus, la maîtrise de ces très nombreuses règles passe par un long apprentissage. Ces problèmes deviennent encore plus prégnants lorsque la taille de la base de cas est importante, lorsque les utilisateurs novices sont autorisés à modifier des cas, ou lorsque plusieurs utilisateurs réalisent la maintenance de la base de cas [Aha et al., 2001].

3.2.5. Comment améliorer l'interaction entre le système du RàPCC et l'utilisateur ?

RàPCC est destiné à améliorer l'interaction entre les utilisateurs et les systèmes RàPC pour réduire au maximum le fardeau de l'utilisateur en termes de ressources (temps, coût de

¹ Case authoring

² Conversational efficiency

l'information¹). L'amélioration de l'interaction entre les utilisateurs et les systèmes RàPC amène un certain nombre de règles distinctes [Branting et al., 2004]:

- Minimiser le nombre de questions posées ou leurs coûts en déterminant des questions à poser à chaque étape de l'interaction donnant le plus d'informations.
- Donner aux utilisateurs le contrôle de leur degré d'initiative par rapport au système.
- Habilitier le système permettant d'expliquer pourquoi une question est posée, et comment la réponse est donnée par le système.
- Habilitier le système pour demander aux utilisateurs de clarifier les questions en cas de besoin.

Différents travaux d'amélioration ont été réalisés dans le domaine des systèmes RàPCC. Nous pouvons citer : approche de la minimisation du nombre de questions explorées par le système [Aha et al., 1998], reconnaissance du moment dans le dialogue où plus aucune question n'est nécessaire [McSherry, 2003], et classement des questions par gains d'informations [Doyle & Cunningham, 2000] [McSherry, 2001a].

3.2.6. Relations sémantiques liées à la sélection des questions en RàPCC

La connaissance du domaine peut jouer un rôle positif dans le processus de la sélection des questions, mais c'est un domaine peu exploré dans la littérature. Par exemple, dans la détection d'un défaut dans une voiture, si les utilisateurs ont dit que le tuyau de carburant est cassé, le système devrait être capable d'inférer que le système de transmission de carburant a un problème au lieu de toujours demander aux utilisateurs : « *quel est le statut du système d'alimentation de carburant?* ». Cet exemple est référencé sous le nom d'*inférence de dialogue*.

Un autre exemple, si la réponse à la question B peut être inférée de celle de la question A, ou la réponse à la question A est plus facile ou moins coûteuse à obtenir que celle à la question B, la question A devrait suggérer aux utilisateurs avant de poser la question B. Cet exemple est référencé dans : *classification de question et de connaissances du domaine*² [Aha, & Gupta, 2002] qui classe les questions en fonction de leurs relations sémantiques.

Les cinq relations suivantes ont été identifiées par Gu [Gu, 2006] [Gu & Aamodt, 2004] entre les concepts, qui ont une influence sur l'*inférence de dialogue* et la *classification de question et de connaissances du domaine*:

¹ Prix des efforts ou des sacrifices et du temps nécessaires pour se procurer de l'information

² Knowledge-intensive question ranking [McSherry, 2001b], [Carrick et al., 1999]. Expert systems are knowledge intensive, using large amounts of diverse input to produce small quantities output.

Niveau d'abstraction du concept¹: le descripteur d'un cas peut être décrit en utilisant des concepts avec différents niveaux d'abstraction². Le niveau inférieur d'un concept permet une description plus précise de ce descripteur. Un concept de niveau inférieur peut être utilisé pour inférer l'existence de ses concepts supérieurs. Par exemple, la notion de « défaut sur l'alimentation en carburant » est un concept de niveau inférieur à celui de « défaut sur le système de carburation ». Ici, l'auteur définit la *sous-classe de* pour exprimer la relation *abstraction de concept*. « A est une sous-classe de B » signifie que A possède un niveau de concept inférieur de celui que B. Quand il s'agit de sélection de questions, cette relation peut être utilisée de deux façons. Dans l'inférence de dialogue, si A est une sous-classe de B et que nous connaissons A, nous pouvons en déduire B (c'est-à-dire que nous n'avons pas besoin de poser de question sur B). Dans la classification de question, si A est une sous-classe de B, une question à propos de A doit être posée après la question sur B [Gupta et al., 2002] [Gupta, 2001].

Les relations de dépendance³ : il y a une relation de dépendance entre deux concepts si l'apparition d'un concept dépend de l'existence de l'autre. A titre d'exemple, l'affirmation selon laquelle « le fonctionnement de la pompe à carburant » dépend du « niveau de carburant dans le réservoir de la voiture ». Ici, nous définissons une relation « dépend de » pour décrire les relations de dépendance. « A dépend de B » signifie que B est la condition nécessaire pour A. Cette relation peut également être utilisée en sélection de questions. Dans l'inférence de dialogue, si A dépend de B et que nous connaissons A, nous pouvons en inférer B. Dans la classification de questions, si A dépend de B, une question sur A doit être posée après la question sur B [Aha & Gupta, 2002] [Gupta et al., 2002].

Les relations de causalité⁴. La relation de causalité concerne un concept qui peut causer l'occurrence d'un autre concept. Par exemple, une erreur du système électrique dans une voiture peut causer le non-démarrage de son moteur. Ici, nous définissons une relation *cause* pour exprimer la relation de causalité. « A cause B » signifie B est le résultat de A. Nous pouvons utiliser cette relation en sélection de questions. Dans l'inférence de dialogue, si A cause B, et que nous connaissons A, nous pouvons en inférer B. Dans la classification de questions, si A est causée par B (« causé par » est l'inverse de la relation « cause ») alors une question sur A doit être posée après une question sur B, à savoir, que si nous connaissons B à partir de la question sur B, nous n'avons pas besoin de poser aux utilisateurs la question sur A.

¹ Concept abstraction

² L'abstraction est la démarche de l'esprit qui consiste, au cours d'un raisonnement, à éliminer les aspects les moins pertinents de la réflexion pour ne considérer que ceux qui sont essentiels.

³ Dependency relations

⁴ Causality relations

Les relations de corrélation¹. Une relation particulière, *corrélation*, est définie pour exprimer les relations entre deux concepts qui se produisent toujours ensemble, même si nous ne pouvons pas dire lequel cause l'autre. Cette relation de *corrélation* ne peut être utilisée que dans l'inférence de dialogue (à partir de chacun de ces deux concepts, nous pouvons en inférer l'autre), mais elle ne peut pas être utilisée en classification de questions.

Les coûts pratiques². Les coûts pour obtenir des réponses à différentes questions sont diverses. A titre d'exemple, pour tester si un interrupteur ou un bouton a un défaut est plus difficile qu'à vérifier que la charge d'une batterie électrique. La relation « plus coûteux que » est définie pour obtenir la réponse à une question est plus difficile que d'obtenir la réponse à une autre question. Cette relation « plus coûteux que de » peut être utilisé en classification de questions, si A est plus coûteux que B, alors A doit être demandé après B [Carrick et al., 1999].

3.2.7. Les tâches de mise en place d'un système RàPCC

Après avoir vu la relation sémantique liée à la sélection des questions, nous détaillerons ici deux méthodes pour élaborer un système RàPCC. La démarche de Gu et Aamodt [Gu & Aamodt, 2005] comprend quatre tâches en RàPCC: *inférence de descripteurs*³, *classification de questions*⁴, *le groupement logique de questions*⁵, et *mise en séquence cohérente des questions*⁶.

Inférence de descripteurs : Si le descripteur d'un problème peut être inféré à partir de la description du problème en cours, ce descripteur peut être ajouté automatiquement à la description du problème, au lieu de poser la question à l'utilisateur. Les utilisateurs sont susceptibles de ne pas faire confiance à un partenaire de communication qui leur demande des informations qu'il est facile d'inférer.

Classification de questions : dans le processus de *conversation*, les questions discriminantes identifiées doivent être classées avant de les afficher aux utilisateurs. On doit adopter alors une méthode intégrée utilisant les relations sémantiques entre les questions. Par exemple, si la réponse à la question C peut être inférée de l'une des réponses possibles à la question D, il sera préférable de poser la question D en premier. Même si un module intégré de la classification de question produit un ensemble de questions classées, on ne doit pas décider de la séquence de questionnement uniquement

¹ Correlation relations

² Practical costs

³ Feature Inferencing (FI)

⁴ Question Ranking (QR)

⁵ Consistent Question Clustering (CQC)

⁶ Coherent Question Sequencing (CQS)

par l'ordre issu du classement. La principale raison est que les individus espèrent toujours vérifier ou répondre à des questions d'une manière naturelle. Ils préfèrent voir un ensemble de questions liées par quelques relations sémantiques, regroupées, et d'y répondre dans une séquence ininterrompue. Ces exigences sont prises en compte dans les deux tâches suivantes:

Le regroupement logique de questions : l'arrangement des questions sur l'écran doit être logique. Il s'agit de regrouper et d'afficher en même temps les questions ayant des relations sémantiques entre elles ; l'ordre des questions dans chaque groupe est, de plus, déterminé par choix. Par exemple, les questions ayant des relations de dépendance entre elles doivent être regroupées et affichées en même temps.

Mise en séquence cohérente des questions : les questions posées dans les cycles de questions-réponses séquentielles les doivent être aussi liées que possible. Le contenu sémantique de deux questions successives doit éviter de changer trop souvent. Par exemple, si dans le cycle questions-réponses précèdent une question plus générale est demandée, la question plus spécifique, vers le bas, devrait être posée dans le cycle suivant plutôt que d'insérer d'autres questions sans rapport entre elles.

La deuxième méthode pour élaborer un système RàPCC a été proposé par Gomez-Gauchia [Gomez-Gauchia et al., 2006b]. Elle repose sur une approche ontologique :

1. *Décrire* le problème à résoudre dans le format textuel. *Décomposer* la description en un ensemble de situations dans lequel chacun d'eux a une description d'un problème et sa solution. Nous avons besoin d'un vocabulaire qui représente chaque situation : pour *définir* les concepts (classes) pertinents et les relations entre eux.
2. *Définir* les questions qui ont un rapport avec la situation et toutes leurs réponses possibles. *Construire* une hiérarchie de questions pour aider à organiser la séquence de questions, c'est-à-dire le cheminement pour trouver la solution.
3. *Construire* des cas: chaque situation a besoin d'un ensemble de cas, qui sont définis aux différents niveaux d'abstraction, passant de résumé général des cas à des versions spécifiques. Les cas sont indépendants, ils sont seulement liés sémantiquement par les questions et les réponses qui décrivent la situation représentée par chaque cas.
4. *Sélectionner* l'un des modèles de similarité à partir des méthodes de résolution de problèmes réutilisable dans la base de cas ou construire la méthode correspondant au domaine spécifique.

5. *Construire* ou *sélectionner* l'ensemble des tâches et des méthodes appropriées à partir de méthodes de résolution de problèmes réutilisable dans la base de cas. Adapter des tâches et des méthodes sélectionnées par rapport au domaine.
6. *Définir* les requêtes afin de tester les cas.

Nous pensons que les deux approches citées peuvent être complémentaires. La première approche précise les différentes relations sémantiques entre les questions posées par le système ainsi que l'ordre d'apparition des questions en fonction de ces relations. Ceci est important lors de la création et la classification des questions. La deuxième approche identifie les démarches de résolution de problème à partir de la création du cas jusqu'à la remémoration des cas similaires antérieurs.

3.3. Diagnostic industriel et raisonnement à partir de cas

Étymologiquement, diagnostic vient du grec *diagnosis* (connaissance). À l'origine utilisé dans le domaine médical, ce terme signifie : « identification d'une maladie par ses symptômes ». Le diagnostic a été ainsi utilisé dans les domaines comme l'ingénierie des connaissances et les systèmes industriels dont la gestion d'entreprise, la maintenance, le service après vente, l'intelligence artificielle, les ressources humaines, le service commercial, le système d'information¹,... . Selon Bussenault et Pretet [Bussenault & Pretet, 2002], le diagnostic est un instrument de direction, dans la mesure où il permet de comprendre le passé, et donc d'enclencher une action, pour l'immédiat et pour l'avenir. Le mot *diagnostic* prend différents sens suivant le contexte : par exemple : le *diagnostic financier* est la vérification de l'état financier, le *diagnostic médical* est la détermination d'une maladie pour en identifier les causes et le *diagnostic industriel* consiste à trouver la cause d'une défaillance.

Dans cette partie, nous commençons par la description du diagnostic industriel. Ensuite, nous citerons les différents types de classification en diagnostics ce qui nous amènera plus précisément sur les méthodes déductives de diagnostic et notamment l'approche par arbre de défaillances. Grâce à cette partie, nous décrivons notre proposition de diagnostic à partir d'arbre de défaillance. Une étude sur les différents systèmes de diagnostic en RàPC et RàPCC est également réalisée à la fin de cette partie.

3.3.1. Description du diagnostic industriel

Le diagnostic industriel dont la vocation première est de détecter et de localiser une défaillance des matériels des systèmes industriels, joue un rôle primordial dans la détection rapide ou précoce, et ainsi rendre plus disponible et productif le système de production. Le

¹ Pour avoir plus d'informations sur le diagnostic dans différents domaines d'applications voir [Bussenault & Pretet, 2002], [Marion, 1999], [Zwingelstein, 1995], [Lebraty & Teller, 1994], [Travé-Massuyès et al., 1997]

diagnostic, souvent assimilé strictement au dépannage, fait maintenant partie intégrante de la fonction de maintenance. Actuellement, de nombreuses approches et applications existent essayant d'utiliser les étapes du diagnostic, mais il y a encore des problèmes non résolus. En raison de la personnalisation des produits et de leur évolution rapide, il existe de moins en moins de machines complètement identiques. Il est donc difficile de trouver des experts pour la maintenance des machines spéciales, notamment si le type de machine est relativement nouveau.

Les techniciens d'un service de dépannage utilisent les connaissances techniques générales, une description détaillée de la structure et du comportement de la machine, et une compréhension générale de la fonctionnalité de la machine pour trouver tous les défauts. Au cours du temps, la connaissance des machines spéciales par les techniciens augmente à travers les défauts qu'ils rencontrent au cours de leurs travaux de dépannage. Cette connaissance empirique permet le perfectionnement de leurs dépannages sur les machines-spéciales.

Selon la norme AFNOR NF X60 319 [AFNOR, 2001], la *maintenance* est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à l'établir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». On appelle *bien* tout élément, composant, mécanisme, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système qui peut être considéré individuellement. Un système est décomposé en sous-systèmes. Les *sous-systèmes* sont décomposés en *composants*. En règle générale et en pratique, ce sont sur ces composants que l'on effectuera la maintenance et non sur les systèmes. Un composant est en interaction avec les autres composants. C'est l'unité de description minimale de l'analyse systémique. Lorsque nous distinguons les différents états de fonctionnement d'un composant, nous appelons cela ses *modes de fonctionnement*.

Un *défaut* est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque cette caractéristique est en dehors des spécifications.

Une *défaillance* est la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques [Zwingelstein, 1996]. Les défaillances, compte tenu de leurs effets et de leurs conséquences, on fait l'objet de deux classifications : les pannes mineures et les pannes majeures.

Une *panne* est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, le dispositif sera déclaré en panne.

Le diagnostic industriel est l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations

provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Il y a deux tâches essentielles en diagnostic : l'observation des *symptômes* de défaillance, et l'identification de la *cause* de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur l'observation [Zwingelstein, 1995]. Le diagnostic est l'étape qui consiste à rechercher quelle est l'origine du défaut. Cette recherche n'a lieu qu'à la condition qu'un défaut ait été détecté.

Le diagnostic repose sur l'analyse de symptômes : effectuer le diagnostic, c'est analyser de façon cohérente ces symptômes. A titre d'exemple : l'ordre dans lequel le médecin pose des questions et étudie les résultats des analyses cliniques est le résultat d'une longue expérience et d'une formation très pointue. Transposé aux systèmes industriels, cela suppose que le système chargé du diagnostic soit adapté à la machine à surveiller.

La méthode de diagnostic est initialement liée au système à diagnostiquer, mais il est possible de dégager une méthode assez générale pour être appliquée quel que soit le diagnostic à effectuer [Brunet et al., 1990] : la méthode repose sur la séparation en deux niveaux différents de perception et de traitement, mais ces deux niveaux se situent après l'étape de détection :

- Le premier niveau : localiser grossièrement le défaut, par comparaison à des seuils pour les entrées/sorties ou autres variables facilement calculables.
- Le deuxième niveau : localiser précisément l'organe défaillant, par les outils de traitement du signal. Éventuellement, il faut prévoir des capteurs spécifiques.

La procédure de diagnostic de défaillance et de dégradation susceptibles d'affecter les différentes entités d'un processus industriel s'articule autour des étapes suivantes :

- L'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux, à partir de moyens de mesures appropriés ou d'observations réalisées par les personnels de surveillance.
- L'élaboration des caractéristiques des symptômes révélateurs de défaillances et de dégradation en vue de la détection d'un dysfonctionnement.
- La détection d'un dysfonctionnement par comparaison avec à des états de fonctionnement normaux et la définition d'indicateur de confiance dans la détection.
- La mise en œuvre d'une méthode de diagnostic de la défaillance ou de la dégradation à partir de l'utilisation des connaissances.
- La prise de décision en fonction des conséquences futures des défaillances et des dégradations.

3.3.2. Classification des diagnostics

La taxinomie des méthodes de diagnostic permet une première classification en plusieurs grandes familles : les méthodes internes et externes et les méthodes inductives et déductives [Zwingelstein, 1995]. Les méthodes internes sont principalement dérivées des techniques utilisées par les automaticiens. Les méthodes externes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confrontée avec un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle comme : la reconnaissance des formes, les systèmes experts, les réseaux de neurones.

Les méthodes inductives de diagnostic correspondent à une approche montante où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable. Une méthode inductive cherche les conséquences d'un événement non souhaité. On peut citer AMDE et AMDEC [Landy 2002] en tant que méthodes inductives. L'analyse AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité est une analyse consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des systèmes et de leurs matériels puis à en rechercher les origines et les conséquences. Pour les méthodes déductives, la démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable et que l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles. Les plus connues de ces méthodes sont l'*arbre des causes* et l'*arbre des défaillances*¹ (AdD) [Brunet et al., 1990]. Les défaillances identifiées dans l'arbre sont relatives à des défaillances de matériels, à des erreurs humaines ou tout autre élément significatif. L'arbre de défaillance est constitué de niveaux successifs d'événements tels que, chaque événement à un niveau donné est généré à partir de combinaison logiques d'événements de niveau inférieur. Cette procédure est répétée jusqu'à atteindre les éléments élémentaires appelés événements de base [Zwingelstein, 1995].

3.3.3. Les problèmes rencontrés lors d'un diagnostic

Le diagnostic d'un problème est assez compliqué à réaliser car :

- Un symptôme peut être causé par différentes conditions de défaillance.
- Certains symptômes ne sont pas faciles à reconnaître. Par exemple, la génération simultanée des conditions de défaillances peut produire un seul symptôme.
- Il existe de nombreux composants fabriqués dans un produit.
- Il y a un très haut niveau d'interaction entre ces composants.

¹ Appelé également l' « arbre des événements »

Souvent, l'objectif du diagnostic séquentiel est de minimiser le nombre de tests nécessaire pour réaliser le diagnostic et donc réduire les risques et les coûts associés aux essais. Un autre point important à traiter par les concepteurs de systèmes est l'acceptabilité du système pour les utilisateurs. De ce fait, une démarche structurée peut-être utile pour lever certains des obstacles liés à l'activité de diagnostic.

3.3.4. Différents systèmes de diagnostic en RàPC et RàPCC

Nous présentons dans cette section les différents systèmes diagnostics¹ basés sur le RàPC et le RàPCC.

CaseLine [Watson & Marir, 1994] est la première génération de démonstrateurs de technologie utilisés par la British Airways pour le diagnostic et la réparation des moteurs de Boeing 747-400. Lorsqu'une panne dans un Boeing 747-400 est détectée ou soupçonnée, soit par l'équipement de surveillance soit par les pilotes, les détails sont transmis au personnel au sol. L'avion peut seulement être programmé pour être sur la piste pendant une heure au cours de laquelle les ingénieurs ont le temps d'identifier la cause de la défaillance et de réaliser la réparation. Ce système est implanté à l'aide de ReMind. Les utilisateurs peuvent saisir des informations de diagnostic et contrôler la recherche de disponibilités de réparation et de récupération des informations. ReMind utilise deux types de description pour la recherche des cas similaires basés sur *K plus proches voisins* ou l'arbre d'induction. Il s'agit soit d'un numéro référant à une panne dans un manuel de maintenance d'avion, soit un texte précis indiquant la panne. D'habitude, un seul cas est remémoré si un appariement exact a été spécifié ou plusieurs cas remémorés si l'appariement est réalisé partiellement. Le système contient presque 200 cas qui décrivent des réparations qui ont échoué et des détails sur celles qui ont abouti.

Cassiopée, implémentée dans le logiciel Kaidara, est un autre système destiné au dépannage des moteurs d'avion Boeing 737. Les cas ont été construits dans la phase de l'élaboration comme des ensembles d'objets décrits par les paires d'attribut-valeur. Les classes sont rangées suivant une hiérarchie représentant un arbre avec des relations d'hiérarchiques pour les sous-classes. Les arbres de décision créés pendant la phase d'élaboration sont utilisés dans la recherche des cas similaires. Il s'agit d'un système structurel qui pourtant possède quelques aspects du modèle conversationnel [Rasovska et al., 2007]. Cette approche fait la distinction entre la similarité locale² pour chaque

¹ Beaucoup de travaux ont été menés dans le domaine du diagnostic, en utilisant des méthodes variées telles que les réseaux neuronaux, les systèmes à base de règles, les graphes causaux et contextuels, les réseaux bayésiens, les réseaux neuro-flous, le raisonnement à partir de cas, etc. [Rasovska et al., 2007]. Un bref résumé des méthodes utilisées dans le diagnostic technique est présenté dans [Piechowiak, 2003].

² Lorsque l'évaluation de deux cas est faite descripteur par descripteur, c'est la similarité locale. Les différentes similarités locales de descripteurs sont combinées en une similarité globale.

attribut et la similarité globale pour chaque classe d'objets définie par une fonction *agrégation* et par un modèle de poids. La similarité globale fait une phase de raisonnement entre la similarité inter et intra classe [Wilke & Bergmann, 1996] L'adaptation dans ce système est transformationnelle.

PATDEX, (**PAT**tern **D**irected **EX**pert Systems) [Althoff & Wess, 1991] [Richter & Wess 1991] a été développé à l'Université de Kaiserslautern dans le cadre d'un système plus vaste appelé MOLTKE¹ [Althoff et al., 1992]. Le but de ce système est de proposer une aide au diagnostic de panne de machines-outils à commande numérique (« CNC-machine ») [Althoff et al., 1989]. L'objectif général de ce système est de rechercher un ensemble d'exemples similaires à une requête donnée. D'autre part, c'est un système conversationnel car le diagnostic peut s'améliorer au fur et à mesure de l'interaction avec l'utilisateur. Le principe du système PATDEX est basé sur l'intégration du RàPC utilisant la méthode *K plus proches voisins* et les arbres de décision². L'ensemble du processus de diagnostic est construit sur l'algorithme de résolution de problèmes analogiques³ [Althoff et al., 1989] (figure 17).

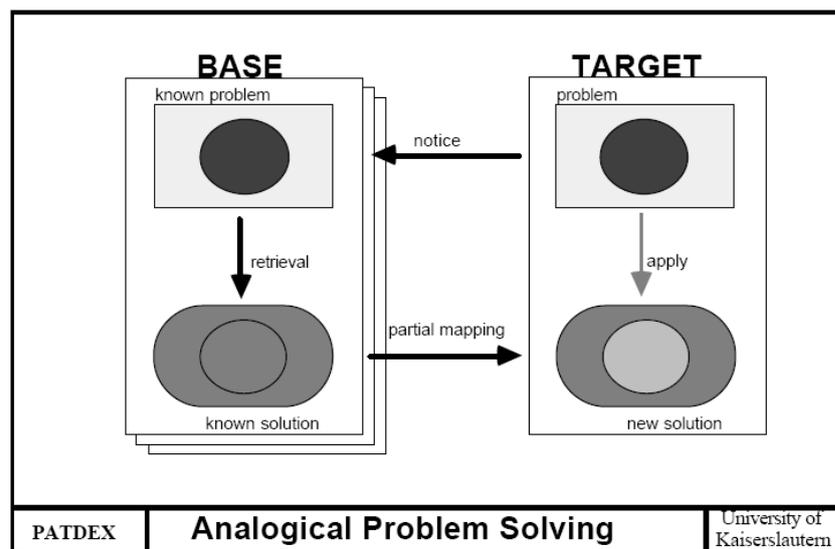


Figure 17. Le mécanisme de contrôle de base en PATDEX [Source : Althoff et al., 1989]

L'algorithme d'APS consiste en deux étapes principales : remémorer les cas les plus similaires et demander la valeur d'un nouveau symptôme. La boucle de la figure 17 se termine lorsque le cas remémoré à partir de la base de cas est suffisamment bonne pour le diagnostic. La mesure de similarité et le graphe d'expérience sont des critères d'évaluation pour trouver des cas similaires. Le système peut mémoriser et utiliser des

¹ Models, Learning and Temporal Knowledge in Expert Systems for Technical Domains

² Le logiciel KATE-INDUCTION de création d'arbre de décision sur des données complexes, développé par [Manago, 1991a, 1991b, 1988], [Auriol, 1995].

³ Analogical Problem Solving (APS) ; cette algorithme est proposé par [Gick & Holyoak, 1980].

expériences individuelles et des informations statistiques (la capacité d'associer des situations, décrites de façon incomplète, avec des bonnes hypothèses). Le processus de raisonnement (pour l'adaptation), utilisant ces connaissances d'expériences, est combiné avec un autre processus centré sur les similarités.

Une caractéristique importante absente du système PATDEX est la possibilité de l'apprentissage de graphe d'expériences par un expert (les arbres de décision ne sont pas modifiables par l'expert dans le système).

CheckMate est présenté par Grant [Grant et al., 1996] comme un système de diagnostic des imprimantes industrielles. Il utilise le *K plus proche voisin* pour remémorer des cas similaires. Ce système est développé dans le CasePoint. Le CasePoint est la version exécutable du CBR Express. Un cas est composé d'une description textuelle de problème, d'un certain nombre de descripteurs défini par l'utilisateur (questions) et le résultat du cas (action). La base de cas dans son entier est constituée de nombreux cas sauvegardés. La structure d'un cas dans une base de cas construite dans le but de réaliser le diagnostic et la réparation est représentée sur la figure 18.

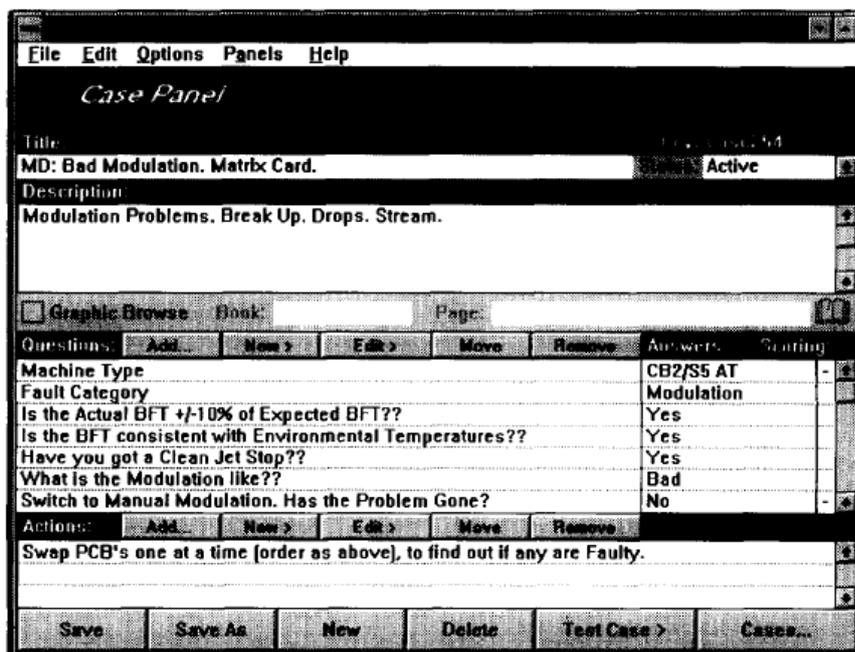


Figure 18. Structure d'un cas dans le CasePoint [Source : Grant et al., 1996]

La recherche de l'utilisateur est lancée en insérant la description du problème sous forme textuel (langage naturel). Cela conduit le système RàPC à remémorer un ensemble de cas, auxquels une note est attribuée, et à l'afficher à l'utilisateur avec une série de questions. Ces questions sont ensuite utilisées pour aider à vérifier ou éliminer le cas, ce qui contribue à limiter la recherche et à révéler une solution plus précise. Cette

dernière étape, l'étape de questionnement, est constituée d'un système de base de règles¹ qui tente de répondre à un objectif (complet ou partiel) par l'application d'une règle.

La recherche des cas similaires est basée sur l'approche de *K plus proches voisins*. Après chaque question, le système réévalue la similarité pour tous les cas de la base de cas en fonction de la réponse à chaque question et indique un pourcentage de similarité.

Avant de commencer la recherche dans CasePoint, la description du problème est réalisée grâce à un fichier de règles². Ces règles simples permettent de pré-répondre à des questions dans la description du problème. Le fichier de règles examine les entrées lors de la description du problème, et après chaque question, répond pendant que la recherche s'affine. Les premiers ensembles de cas similaires sont alors remémorés, compte tenu de la description du problème et des questions pré-répondues. L'utilisateur sélectionne ensuite une question, il continue jusqu'à ce que la recherche soit affinée, et qu'un ensemble de cas obtiennent une note adéquate pour essayer de résoudre son problème.

CREEK, [Aamodt, 2004] le système CREEK est appliqué au diagnostic des pannes de voiture. Ce système est basé sur le RàPC structurel Il a évolué vers le RàPC Conversationnel [Gu & Aamodt, 2005, 2004]. L'architecture de CREEK est basée sur un modèle intégrateur de la résolution de problème et l'apprentissage. Un modèle générale défini tous les concepts du diagnostic (symptômes), de l'apprentissage (généralisation de défaillance), du domaine (voiture) et du raisonnement (cas). À l'aide de la même structure de représentation. Dans ce modèle le cas est représenté par une liste de descripteur (concept) [Rasovska et al., 2007]. Le modèle de représentation des connaissances dans CREEK est basé sur un réseau sémantique, où chaque nœud et chaque lien dans le réseau est défini dans son propre cadre. Chaque nœud du réseau correspond à un concept dans le modèle de connaissance, et chaque lien correspond à une relation entre les concepts. Chaque concept est défini par ses relations avec d'autres concepts. La recherche des cas similaires est basée sur la similarité sémantique qui prend en compte la connaissance générale du domaine qui permet d'orienter la

¹ Rule-based system

² Une base de règle est l'élément de la base de connaissances d'un système expert qui contient l'ensemble des règles de production constituant le savoir-faire du domaine. Les règles sont des connaissances de type opératoire représentant l'expertise dans un certain domaine de problèmes. Pour résoudre des problèmes spécifiques dans ce domaine, le moteur d'inférences utilise une base de règles.

(par exemple dans la résolution de problème des imprimantes industrielles [Grant et al., 1996] :

IF

Viscosité est élevée

Et l'encre est peu

Et température > 20

Et température >40

THEN

Changer la cartouche

recherche vers les cas adaptables au niveau du problème. Le système se souvient de la *trace de raisonnement* dans la phase d'adaptation.

Le système CREEK contribue à deux principes du RàPCC: il fournit une explication processus du raisonnement pour soutenir l'inférence de dialogue et la classification de questions et de connaissances du domaine ; les questions discriminantes peuvent être classées par leurs relations sémantiques grâce à un modèle de représentation de connaissances.

3.4. Conclusion du Chapitre

Dans ce chapitre nous avons réalisé un travail bibliographique sur le RàPCC. Nous avons expliqué la description et l'état de l'art sur le RàPCC et les raisons pour lesquelles, nous avons privilégié cette approche par rapport aux autres modèles. Nous avons explicité le processus du modèle de Raisonnement à Partir de Cas Conversationnel (RàPCC) et ses caractéristiques, qui sont plus adapté à notre domaine de recherche. Le RàPCC porte deux avantages principaux par rapport au RàPC classique : il met en interaction l'utilisateur et le système d'une part et il permet également de définir progressivement le problème jusqu'à sa résolution.

Selon les cinq conseils que nous avons expliqués pour construire une bonne base de cas, nous avons pris en compte l'aspect de « demander une action par question » dans nos travaux. Ce choix facilite la demande d'une question et précise bien le besoin de chaque question en améliorant la qualité des questions. Dans l'amélioration des interactions entre le système du RàPCC et l'utilisateur, nous avons favorisé le point suivant : « donner aux utilisateurs le contrôle de leur degré d'initiative par rapport au système ». Ceci permet de proposer la démarche de résolution de problème tout en gardant leur point de vue sur une situation. Ces deux aspects seront démontrés dans le dernier chapitre.

Nous avons montré qu'il existe la possibilité de sélectionner des questions dans les certains systèmes du RàPCC. Dans ces systèmes, il a été proposé une liste de questions à l'utilisateur du système pour la sélection des cas. L'utilisateur choisit et répond aux questions proposées par système en rapport avec le problème à résoudre. Pour cela, il faudra définir les types relations sémantiques qui existent entre les questions qui permettront de mieux choisir les questions dans une interaction avec l'utilisateur. Définir les tâches à réaliser en RàPCC, nous amène à comprendre les relations et les regroupements des questions ainsi leurs organisations dans la base de cas.

Nous avons également présenté le diagnostic industriel et les notions appliquées dans ce domaine. Nous avons expliqué les classifications des diagnostics afin de positionner notre choix de méthode celui de arbre de défaillance. Ce choix sera présenté en chapitre quatre en

présentant ces avantages et ces limites. Finalement nous avons présenté les différents systèmes de diagnostic en utilisant le RàPC et le RàPCC.

Nous allons montrer dans le chapitre 4, notre démarche méthodologique dans le cadre de l'aide au diagnostic et réparation des pannes en utilisant le RàPCC et le retour d'expérience.

CHAPITRE 4 :

**PROPOSITION METHODOLOGIQUE DE L'UTILISATION
DE RAPCC POUR LE RETEX : DEVELOPPEMENT D'UN
SYSTEME D'AIDE AU DIAGNOSTIC ET REPARATION**

4.1. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre trois le diagnostic industriel ainsi que les différents termes utilisés dans le domaine de diagnostic. Nous rappelons que nous travaillons sur le RETEX et le RàPC et plus précisément un modèle particulier le RàPCC. Celui-ci est utilisé en résolution de problème, et, plus particulièrement sur la phase de diagnostic. Le RàPCC est issu de l'intelligence artificielle, notre travail consiste entre autre à le transférer au domaine de génie industriel. Il s'agit donc d'intégrer à un ensemble de méthodes visant à optimiser les flux dans l'entreprise (en particulier les flux d'information) et de préciser la place de RàPCC dans les démarches de résolution de problèmes (tels que le cycle de PDCA ou la roue de Deming : Plan-Do-Check-Act, six sigma DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) ou encore 7-steps [Kamsu Goguem, 2008]).

Dans ce chapitre, nous expliquerons la méthodologie que nous proposons dans nos études. Nous explicitons ensuite notre démarche de développement d'un système aide au diagnostic en quatre étapes. Nous détaillerons les étapes de la formalisation des connaissances tacite selon notre proposition (protocoles de décision) basée sur les arbres de défaillance. Nous proposerons finalement les principes d'une maquette informatique. Nous préciserons ces apports en expliquant la méthodologie complète dans le paragraphe suivant.

4.2. Présentation de notre méthode

Nous présentons ici le synopsis générale de la méthode (figure 19). Nous commentons ensuite chaque étape.

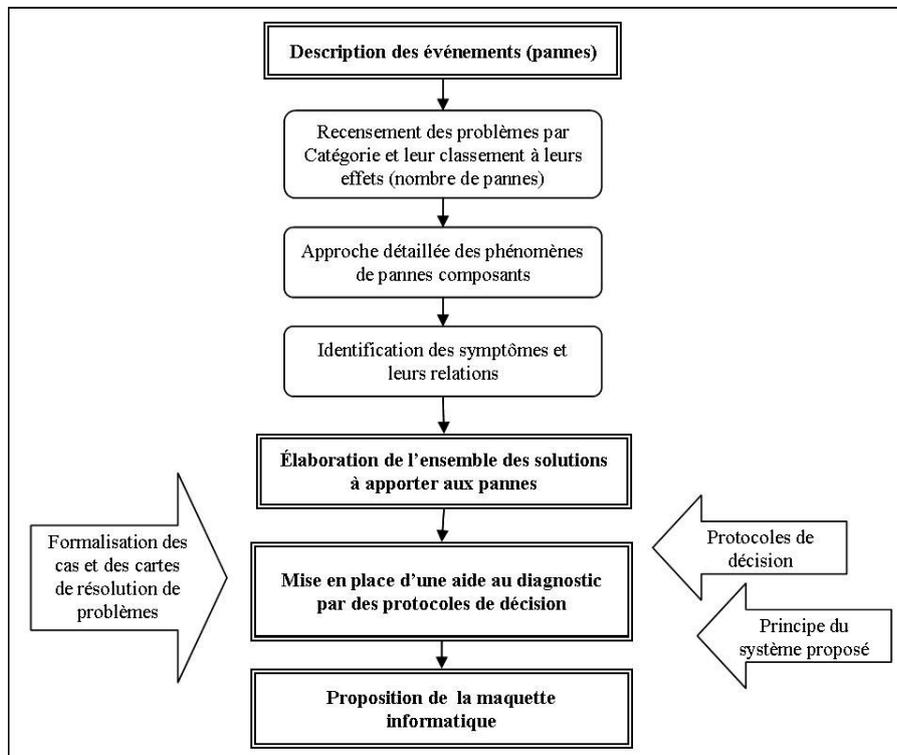


Figure 19. Les démarches de notre méthode [Source : Notre recherche]

4.3. Description des événements (pannes)

Recensement des problèmes et sous-problèmes et leur classification

Cette phase repose sur la réalisation d'un état de l'art dans l'entreprise. Il s'agit de l'identification de différentes catégories des problèmes et d'effectuer une étude statistique sur l'ensemble des problèmes de panne existants dans l'entreprise. L'étude statistique nous permettra de faire une classification sur les pannes les plus rencontrées. Notre hypothèse est la suivante : nous définissons comme problème prioritaire ceux que l'on rencontre le plus souvent.

Une deuxième étude sera l'identification de tous les composants d'une machine précise. Nous appellerons sous thèmes les composants défectueux d'une machine précise. Une étude statistique donne un classement des composants les plus défectueux.

Les sources d'information pour cet état de l'art sont décrites dans le schéma ci-après (figure 20).

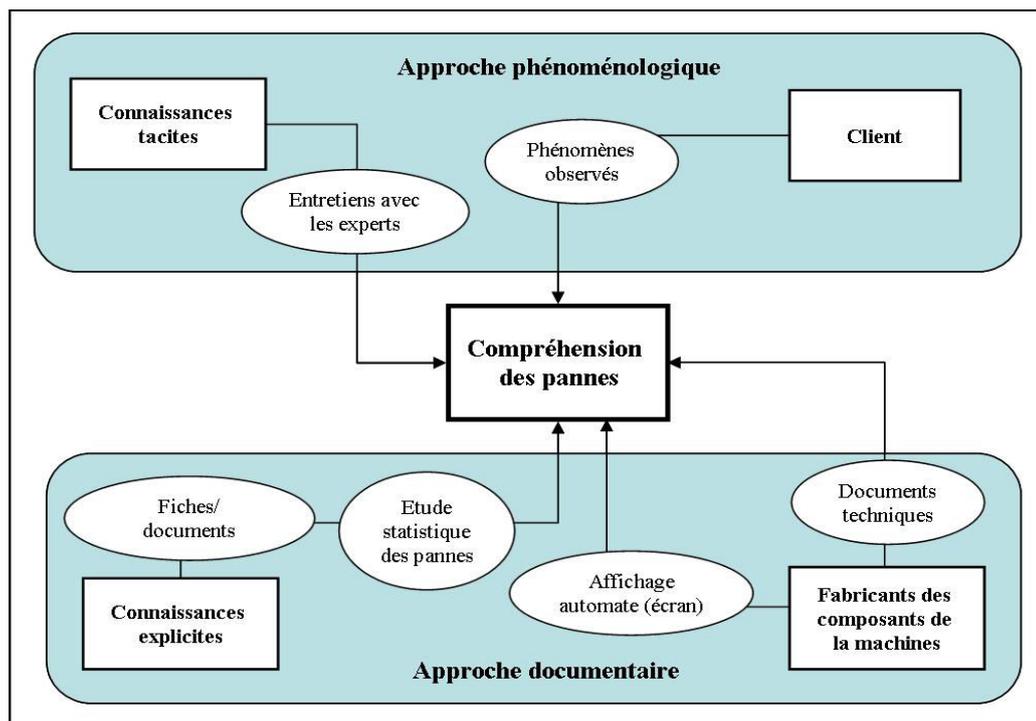


Figure 20. Source d'information dans le cas d'une démarche de diagnostics
[Source : Notre recherche]

Regroupement des problèmes et composants

Suite à la première étude dans le paragraphe précédent, nous groupons les dits problèmes et composants par catégorie (thème). Ce groupement est complexe, car un

problème correspond plusieurs composants défectueux, et un composant atteste de plusieurs problèmes. Les catégories doivent simplifier ces redondances. Notons que le regroupement des composants tient compte de l'architecture organique de la machine.

Établissement des liens entre composants et problèmes

Une fois les composants d'études identifiés, nous avons défini des problèmes communs entre ces composants. Nous avons traité ces problèmes comme des problèmes principaux ou des pannes plus rencontrés dans l'entreprise. Nous avons expliqué la nature de chaque problème.

Identification des symptômes

Nous avons défini différents types de symptômes pour chaque problème : les *symptômes exprimés par le client* (utilisateur de la machine) et les *symptômes décrits dans les documentations techniques et les symptômes décrits dans les documentations techniques*.

Symptômes exprimés par le client : sont tous les symptômes rencontrés par le client lors d'apparition une panne. Le client exprime les symptômes par téléphone, par fax ou par mail. Le client donne ses observations mais aussi son opinion et des hypothèses plus ou moins fondées.

Il peut y avoir un ou plusieurs symptômes déclarés par client, lors d'apparition d'une panne sur la machine d'un client. De manière générale, le client appelle à l'entreprise afin de résoudre son problème. A priori, lors de son appel, le client n'étant pas être expert du domaine ne peut annoncer à la fois tous les symptômes sur le dysfonctionnement ou panne de la machine. Il ne peut que les annoncer au fur et à mesure dans une communication avec un expert. En effet, le client annonce les premiers symptômes rencontrés, mais, ensuite c'est l'expert qui lui pose des questions afin d'avoir plus d'informations sur la panne et lui demande des symptômes qui constate progressivement.

Symptômes présents sur l'écran affichage (informations issues de capteurs) : sont tous symptômes identifiés dans la machine pour qu'ils apparaissent au moment d'une panne. Ces symptômes peuvent apparaître sur l'écran ou un indicateur sur la machine.

Symptômes décrits dans les documentations techniques : sont les symptômes qui sont fourni par les fournisseurs des composants des machines.

Dans cette étape nous définissons la combinaison des symptômes qui pourra générer un problème. Si on définit un symptôme générale (S) et que nous avons quatre symptômes (S1, S2, S3, S4) pour un problème A, nous pouvons donc décrire les combinaisons des symptômes qui produisent le problème A :

Par exemple :

$S1 \wedge S2 \Rightarrow$ Problème A

$S1 \wedge S3 \wedge S4 \Rightarrow$ Problème A

L'ensemble de combinaison de ces deux types de symptômes permettra à l'expert d'identifier le problème. Nous allons proposer notre méthodologie dans le paragraphe suivant.

4.4. Élaboration de l'ensemble des solutions à apporter aux pannes

Nous proposons de recenser l'ensemble des conseils apportés par les experts lors des situations de pannes. Il s'agit donc des solutions préconisées pour résoudre la panne ou le dysfonctionnement, également, l'origine des chaque panne. Nous avons également décrit les relations entre les symptômes qui permettent de définir le problème. Ainsi notre méthode prévoit l'élaboration d'un tableau qui sert de base à notre future démarche de diagnostic. Le tableau consigne les données suivantes : problème, origines de la panne (cause), symptômes, solutions proposées.

4.5. Mise en place d'une aide au diagnostic par des protocoles de décision

C'est le point clé de notre recherche. Il s'agit de réellement parvenir à la formalisation de la démarche de diagnostic. Les principes utilisés est le suivant : le diagnostic se construit par une série de questions-réponses (des conversations) entre un expert et un client. Certaines questions sont suivies aussi de test et essai.

Dans la pratique, au cours d'une conversation, l'expert cherche dans sa mémoire ainsi que dans les documents qui sont à sa disposition pour diminuer les hypothèses posées pour le problème en cours de résolution et les préciser en posant des questions auprès du client. Le client exprime son problème par le langage naturel pour transformer des informations concernant son problème. Il commence à expliquer son problème partiellement ou entièrement avec son propre vocabulaire. Son vocabulaire n'est peut-être pas tout à fait technique. Ses explications sont basées principalement sur ses observations lors de la survenue d'un problème. Dans cette étape, le client explique et l'expert écoute l'explication du client attentivement. Un client fournit souvent des informations dispersées, non formalisées, voire parfois des fausses données ou informations, et souvent il ne connaît pas bien la machine.

Un expert doit savoir demander plus de précisions. L'expert commence à poser des questions lorsqu'il a besoin d'une clarification sur les informations fournies par le client. À un moment donné, l'expert découvre le problème. Un bon expert est quelqu'un qui pose un petit nombre de questions mais il déduit les restes des informations à partir des explications qui ont

été fournies avant par le client. Le rôle de l'expert est de proposer le client une démarche structurée afin de lui demander des informations nécessaires au cours de la conversation. Donc, l'expert doit orienter le client en lui posant les bonnes questions au bon moment. Par exemple : l'expert va demander au client de faire un essai. Le client va actionner un composant, remplacer pièces, etc. Ainsi la réponse du client sera « cela marche » ou « la machine est toujours en panne ». Un expert moins expérimenté ou un novice aura de difficultés à comprendre ce que veut dire le client et à l'orienter sur des actions à mener.

De ce fait, notre méthode met à la disposition de l'expert lui permettra de poser des questions pertinentes étape par étape au cours de cette conversation. Elle aide l'utilisateur de système, c'est-à-dire l'expert, à contrôler les échanges et les conversations entre le client et l'expert de façon interactive et conversationnelle. Chaque résultat obtenu a ces caractéristiques :

- Il pourra être un point de départ pour préciser un autre sous problème. L'expert doit créer les nouvelles hypothèses avec de nouveaux symptômes.
- Élimination ou réduction des nombres d'hypothèses,
- La fin du diagnostic et la résolution de problème est réalisé ou le problème est non résolu !

Notre méthode vise donc à formuler ces échanges entre l'expert et le client.

4.5.1. Limite des collectes des informations

Notons que sur la collecte des informations nous constatons cependant certaines limites :

- Difficultés des collectes des informations suite à des entretiens collectifs. Chaque expert possède ces propres raisonnements dans une démarche de la résolution de problèmes en fonction de sa spécialité et ses expériences.
- La collecte d'informations des acteurs d'une entreprise n'est pas tout à fait évidente à réaliser, lorsque les employés ne sont pas sensibilisés à cette approche de retour d'expérience. Ils considèrent que cette affaire est une perte de temps par rapport à leur mission. Ainsi, les experts dans l'entreprise peuvent prendre en compte le retour d'expérience comme une extraction des connaissances par obligation qui pourra inciter le licenciement des employés ultérieurement. De ce fait, les acteurs et les experts de domaine pourront avoir moins tendance à conserver et partager leurs propres connaissances afin de les transmettre à l'organisation.

4.5.2. Arbre de défaillances

Dans cette phase, nous expliquerons toutes nos démarches de collectes des informations et le diagnostic des problèmes en utilisant le modèle d'arbre de défaillance. La méthode de l'Arbre de Défaillances (AdD) [Limnios, 2007, 2005] est très utilisée dans les domaines de la sécurité et de la fiabilité des systèmes industriels : automobile, nucléaire aéronautique, chimie, etc. Un arbre de défaillance représente le mode de défaillance d'un système en fonction des modes de défaillances de ses sous-systèmes et composants. L'arbre de défaillances fait partie de la famille des modèles dites des ensembles minimaux, c'est-à-dire des modèles utilisant les chemins minimaux pour étudier la fiabilité des systèmes. Cette méthode vise aux actions suivantes :

- Déterminer les combinaisons possibles d'événements qui conduisent à un défaut de fonctionnement ou une panne ; nous utilisons pour cela une analyse déductive des causes : on liste l'ensemble de toutes les causes qui ont pu provoquer un défaut.
- Représenter graphiquement ces combinaisons au moyen d'un arbre ; cette représentation utilise les symboles graphiques d'opérateurs logiques « et » et « ou » ; la figure 21 représente les symboles les plus utilisés pour la réalisation de l'arbre de défaillances.

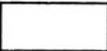
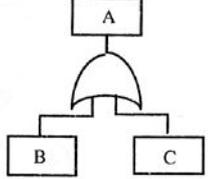
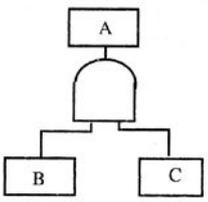
| SYMBOLE | SIGNIFICATION DU SYMBOLE |
|---|---|
|  | Événement ou condition |
|  | Événement élémentaire ne faisant plus l'objet d'analyse |
|  | Porte "OU" A se produit si B ou C se produisent |
|  | Porte "ET " A se produit si B et C se produisent simultanément |
|  | Renvoi à une autre page |

Figure 21. Symboles utilisés pour la construction d'arbres de défaillances [Source : Zwingelstein, 1995]

La figure 22, représente un exemple d'arbre de défaillance réalisé pour déterminer les causes du non-démarrage d'un générateur diesel de secours d'une centrale nucléaire.

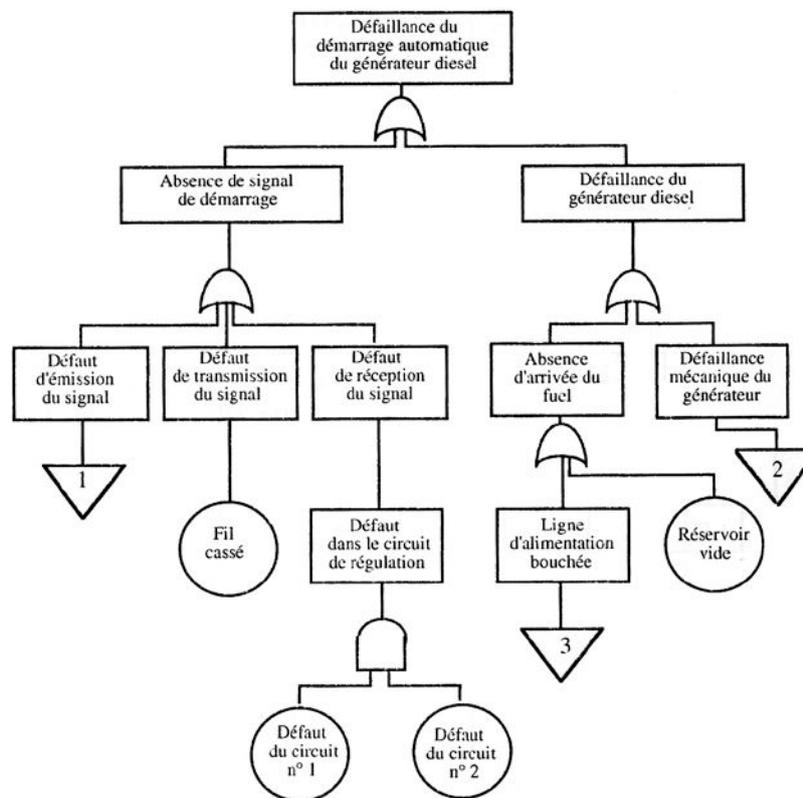


Figure 22. Exemple d'un arbre de défaillance

4.5.3. Les avantages et les limites de l'arbre de défaillance

Parmi les avantages de la méthode de l'arbre de défaillance, nous pouvons citer des points suivants :

- Analyse de toutes les causes possibles d'un défaut ; elle permet ainsi d'améliorer la conception d'un système.
- Compréhension facile et rapide de la démarche de dépannage.
- Réalisation d'un diagnostic rapide des défauts.
- Prise en considération et réutilisation des connaissances des experts du domaine (équipe de maintenance), de la réparation et de la conception des systèmes ; elle constitue un bon outil de communication.

Toutefois, l'arbre de défaillance possède également certaines limites que nous devons préciser [Desinde, 2006]:

- La méthode de l'arbre de défaillance trouve ses faiblesses dans la notion d' « événement », très vague, qui laisse un très grand champ de possibilités derrière cette terminologie. Il est donc facile, d'une personne à l'autre d'obtenir des arbres différents, donc difficilement comparables, et cela d'autant plus que le système à étudié est complexe. Par ailleurs, l'emploi de cette méthode se révèle difficile pour l'étude de systèmes en interactions et fortement dépendant du temps.
- On ne sait pas exactement jusqu'à quel niveau de décomposition aller.

4.5.4. Formalisation des connaissances tacites et la proposition de diagnostic par des protocoles de décisions

Nous utiliserons le principe de l'arbre des défaillances afin de créer notre modèle pour diagnostiquer une défaillance ou une panne. Le principe que nous proposons est de construire un arbre à questions successives dont la réponse peut être « oui » ou « non ». Selon la réponse à la question, la branche suivante de l'arbre atteint soit une autre question ou instruction, soit un diagnostic. Ce principe est utilisé à l'aide de l'interactivité entre le client et les services support d'aide à distance pour résoudre un problème (figure 23). Notre proposition possède tous les avantages de l'arbre des défaillances dont nous avons parlé précédemment. De plus, en raison de la minimisation du nombre de symboles, elle est plus facile à utiliser et rend la communication encore plus simple. Ceci permet de faire un diagnostic ainsi qu'une réparation plus rapide. L'élimination de certains symboles comme « ou » et « et » sont possibles grâce à des critères¹ que nous avons intégrés dans l'arbre au cours de sa construction ; cela est l'avantage de notre proposition qui permet de proposer une démarche précise en considérant des critères. A titre d'exemple : la facilité du test (l'action A est plus facile à tester que l'action B), la plausibilité (en fonction de l'expérience de l'expert, il lui semble que la pièce A est plus défectueuse que la pièce B).

La technique envisagée ne se réduit pas à un simple diagnostic de la panne mais suggère des solutions ou des conseils de résolution à l'expert métier.

Dans une démarche de résolution de problème, nous pouvons avoir différents parcours (mode de raisonnement) à suivre jusqu'au dépannage du client. Un chemin dans le protocole de décision est un parcours de résolution (figures 23 et tableau 4). Nous pouvons avoir différents chemins pour un problème précis.

¹ Nous décrirons tous ces critères dans le chapitre cinq

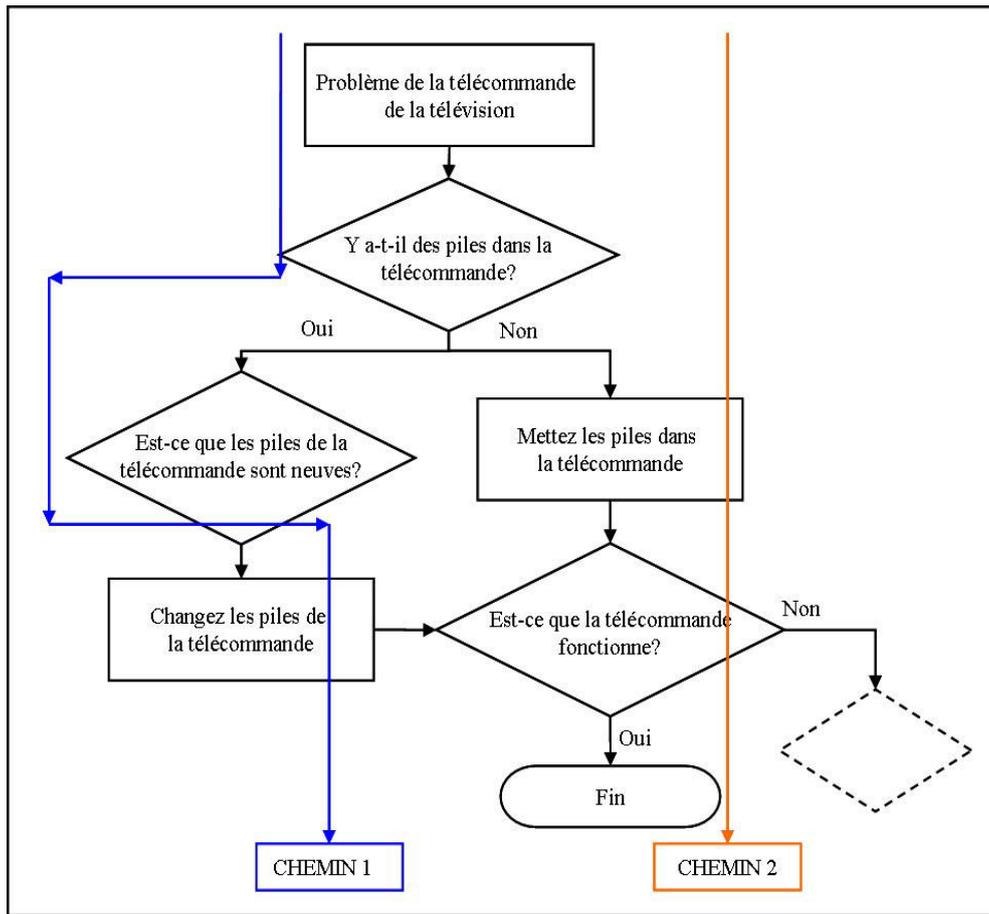


Figure 23. Protocole de décision ; exemple d'une télécommande de la télévision [Source : Notre recherche]

| Problème : Défaillance d'une télécommande de la télévision (CHEMIN 1) | |
|--|--|
| Expert₁ | Y a-t-il des piles dans la télécommande ? |
| Client₁ | Oui |
| Expert₂ | Est-ce que les piles de la télécommande sont neuves ? |
| Client₂ | Non. |
| Expert₃ | Changez les piles de la télécommande. Est-ce que la télécommande fonctionne |
| Client₃ | OK. La télécommande fonctionne |
| Problème : Défaillance d'une télécommande de la télévision (CHEMIN 2) | |
| Expert₁ | Y a-t-il des piles dans la télécommande ? |
| Client₁ | Non |
| Expert₂ | Mettez les piles dans la télécommande. Est-ce que la télécommande fonctionne ? |
| Client₂ | OK. Elle fonctionne. |

Tableau 4. Les chemins de résolution de problème [Source : Notre recherche]

4.6. Représentation et formalisation d'une carte de résolution de problème

Nous déterminerons une base de cas de référence dans laquelle les diagnostics et les pannes ainsi que les démarches de leurs résolutions sont définis ; les expériences d'experts seront également disponibles dans cette base de cas.

Si pb est un problème (resp., sol est une solution) alors pb (resp., sol) est une expression d'un formalisme de représentation des connaissances qui représente un problème (resp., une solution) de ce domaine. Par ailleurs, on suppose qu'il existe une relation binaire liant un problème à une solution et dont la signification est « a pour solution ». Dans certaines applications du RàPC, cette relation n'est qu'imparfaitement connue. En revanche, on dispose d'une base de cas (appelée cas sources), c'est-à-dire d'un ensemble de couples cas-srce = (srce, Sol (srce)) où srce est un problème, Sol (srce) est une solution et srce a pour solution Sol (srce).

On note CD la base de connaissances codant les connaissances du domaine. Un problème pb encode un ensemble de situations particulières appelées instances du problème pb. Si pb et pb' sont deux problèmes, on dira que le premier est plus spécifique que le second (dénote par $pb \models_{CD} pb'$) s'il encode un ensemble d'instances inclus dans l'ensemble d'instances encodé par le second. Raisonner à partir de cas, c'est résoudre un problème, appelé problème cible et dénoté par « cible », au moyen de la base de cas. Ce raisonnement est d'habitude constitué de deux grandes étapes : la *remémoration*, qui a pour objectif de sélectionner un cas source jugé similaire au problème cible, et l'*adaptation* qui a pour objectif de résoudre le problème cible en s'appuyant sur le cas source remémoré.

La figure 24 présente un modèle d'une conversation entre l'expert et le client. Le problème en jeu est précisé au fur et à mesure de la conversation. L'information véhiculée par un message de l'expert vers le client (resp., du client vers l'expert) est notée $expert_{t=i}$ (resp., $client_{t=i}$). Dans la suite, on utilisera, par exemple, $client_{t=i}$ à la fois comme une représentation textuelle de ce message et comme une représentation formelle, manipulable par un raisonnement.

On peut considérer que le problème initial, $srce_0$ est un problème très général « J'ai un problème de panne ou de dysfonctionnement. » et que chaque réponse $client_{t=i}$ ($i > 0$) permet de le préciser :

$$srce_i = srce_{i-1} \wedge client_{t=i}$$

Remarquons que dans ce modèle qu'on ne remet pas en cause une information qu'a donnée le client, à moins de tomber sur une contradiction : si $srce_i$ n'est pas satisfaisante, il

faudra bien reprendre la construction du problème (et réviser certaines réponses proposées par le client).

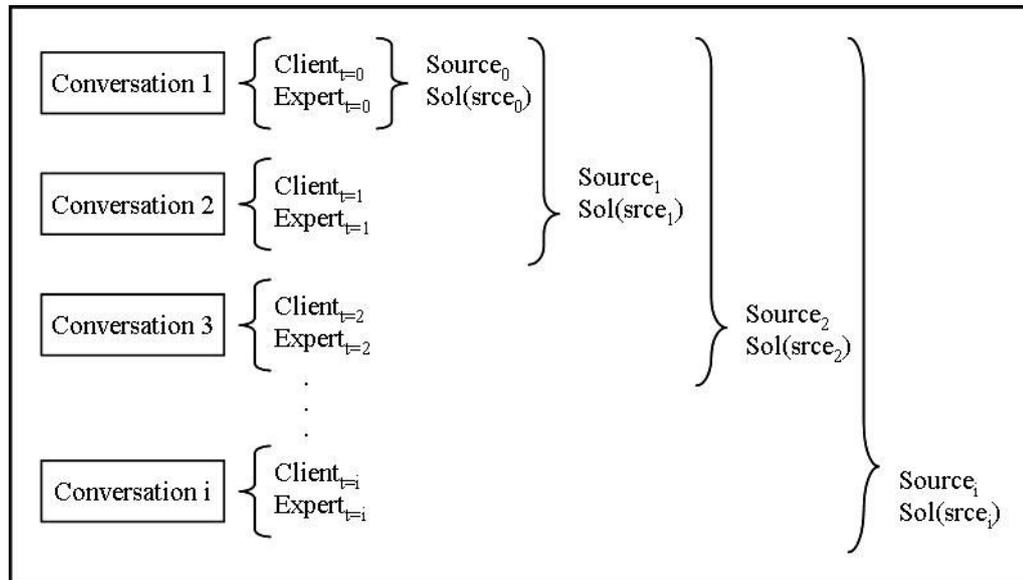


Figure 24. Exemple de carte de résolution de problème [Source : Notre recherche]

La dernière réponse de client doit indiquer que le problème est résolu (exp. client_{t=7}) et ne conduira plus à un nouveau problème (on ne définira pas srce₇). Une solution Sol(srce_i) d'un problème srce_i est un message que l'expert adresse au client :

$$\text{Sol}(srce_i) = \text{expert}_{t=i}$$

Il s'agit en général d'une question ou d'une instruction accompagnée d'une question. Ainsi, à une carte de résolution de problème correspond un ensemble de cas (srce_i, Sol(srce_i)), sachant que le problème srce_i spécialise le problème srce_{i-1} : srce_i \models_{CD} srce_{i-1}. Par conséquent, si f est le numéro du problème final ($f = 3$ par exemple), srce_f \models_{CD} srce_i pour tout $i \leq f$. On indexera la carte par son problème final srce_f [Armaghan et al., 2008 a].

Rappelons que dans une démarche de résolution de problème, nous pouvons avoir différents parcours à suivre jusqu'au dépannage du client. Un chemin dans un protocole de décision est un parcours de résolution. Nous pouvons avoir différents chemins pour un problème précis. A titre d'exemple, nous avons expliqué dans le paragraphe précédent (§ 4.5.4.) deux chemins différents pour résoudre un problème bien précis et dépanner le client.

Une « carte » est construite par l'expert progressivement en interrogeant le client en interaction avec le système¹. Une « carte » est composée par des ensembles de cas. En effet, dans notre méthode, nous faisons l'hypothèse que chaque question-réponse est un cas. Ainsi, une autre hypothèse de base de notre méthodologie est le suivant : un cas au sens RàPCC est

¹ Une « carte » est définie dans un système informatisé.

un chemin, c'est-à-dire un mode de raisonnement de diagnostic. En gardant tout l'historique des cas, nous formalisons donc chaque cas par une « carte ». Au cours de la construction d'une carte, le problème cible est de plus en plus précis jusqu'à l'obtention d'une solution. Dans une carte, l'expert pourra sauvegarder ses propres explications ou interprétations, si nécessaire, après chaque questions-réponse. Les cartes seront personnalisées pour un problème particulier pour une réutilisation ultérieure. Ces cartes pourront donc remémorer et servir plus tard dans les situations similaires par les experts. Pour chaque panne, les experts peuvent étudier les cartes similaires au problème cible en s'inspirant des cartes les plus adaptées au cas cible, et donc délivrer leur diagnostic.

4.7. Principe du système proposé

À un instant i de l'interaction avec le client, l'expert connaît la cible $_i$. Si une carte correspond à une situation plus spécifique que la cible $_i$, autrement dit, si elle est indexée par $srce_f$ tel que $srce_f \models_{CD} cible_i$, alors il est possible qu'elle corresponde exactement ou approximativement au problème de panne du client, une fois que celui-ci aura été entièrement spécifié. Le principe du système est de donner à l'expert, à tout instant i , l'ensemble de ces cartes, charge à lui de les réutiliser (ou non). La figure 25 présente, sous la forme d'un algorithme, le principe du système proposé [Armaghan et al., 2008 b].

Début

cible $_0$ ← « J'ai un problème de panne ou de dysfonctionnement. »

Sol(cible $_0$) ← « Bonjour, est-ce que vous pouvez préciser ? »

i ← 0

Répéter

Demander à l'expert de lire le message Sol(cible $_i$) au client (ou un message équivalent).

i ← $i + 1$

Soit client $_{t=i}$ la réponse du client.

Si client $_{t=i} \neq$ OK

alors cible $_i$ ← cible $_{i-1} \wedge$ client $_{t=i}$

Soit E l'ensemble des cartes indexées par $srce_f$ telles que $srce_f \models_{CD} cible_i$.

Donner accès à E à l'utilisateur, qui pourra s'en servir, au besoin, pour l'aider à formuler le message suivant au client : Sol(cible $_i$).

Jusqu'à OK

Stocker la nouvelle carte en l'indexant par le problème cible $_{i-1}$.

Fin

Figure 25. Algorithme du système proposé [Source : Notre recherche]

4.8. Remémoration guidée par adaptation

L'objectif de remémoration est de trouver une solution la plus proche de la solution du problème cible. Une solution proche est une solution qui nécessitera peu d'adaptation et il s'agit donc de trouver la solution qui sera la plus facile à adapter. Afin de trouver la solution

d'un problème cible, les descripteurs de problème doivent être reliés explicitement aux descripteurs de solution. Cette mise en relation peut être réalisée à l'aide des connaissances d'adaptation¹. Les descripteurs jouent des rôles plus ou moins importants dans la résolution de problème, en particulier, certains descripteurs de problème ont une influence plus importante sur la solution. L'approche de remémoration qui utilise les connaissances d'adaptation pour la remémoration s'appelle la « *remémoration guidée par adaptation*² ». La remémoration guidée par adaptation permet de prendre en compte cette influence en utilisant lors de la remémoration les connaissances d'adaptation pour estimer l'importance relative des caractéristiques de problème. Elle consiste à utiliser les connaissances d'adaptation au moment de la remémoration pour déterminer quels sont les descripteurs de problème qui ont plus grande influence sur la solution [Fuchs, 2008].

La similarité est supposée significative de l'adaptabilité des cas, car elle capture la proximité des solutions. L'utilisation d'un critère d'adaptabilité a pour objectif de minimiser « *l'effort d'adaptation* » car cette étape est délicate du fait du critère peu sûr de ces connaissances. Il faut par conséquent minimiser les opérations d'adaptation et prendre le moins possible de risques en choisissant le cas qui sera le plus facile à adapter [Fuchs, 2008] [Fuchs et al., 2006] [Smyth et al., 1996].

Autre hypothèse dans nos travaux consiste: les descripteurs des cas dans le processus de la remémoration sont les symptômes que nous avons définis pour identifier les problèmes ainsi que l'ensemble des solutions proposées (c'est-à-dire ; les composants rechangés). Le système décrit n'inclut pas de procédure d'adaptation : celle-ci est effectuée par l'expert. Le système, une fois qu'il aura été implanté selon le principe présenté ci-dessus, n'effectue de façon « *semi-automatique* » que la remémoration. Car il sélectionne en général plusieurs cartes de résolution de problème, laissant la sélection finale à l'expert. Cependant, si on adhère au principe de la remémoration guidée par l'adaptation, cela entraîne que la remémoration, idéalement, doit préférer un cas source à un autre si la première demande moins d'effort d'adaptation pour résoudre le problème cible que la seconde.

4.9. Proposition de la maquette informatique

Nous avons développé la structure de notre base de cas sous forme de classification des problèmes issus de l'hierarchisation des informations. Chaque problème est identifié par certains symptômes. À partir des symptômes, nous identifions le problème ainsi que la classe de ce problème (au niveau du module qu'il appartient). Puis, pour chaque problème, nous présentons les démarches de la résolution de problème définies à partir des protocoles de

¹ En générale, dans une adaptation, la solution similaire antérieure doit être modifiée pour prendre en compte les différences afin de correspondre à la nouvelle situation. Les connaissances modifiées pour réaliser l'adaptation est considéré comme la « *connaissance d'adaptation* ».

² Adaptation Guided Retrieval

décisions. Nous présentons au sommet le problème ou le symptôme et au fur et à mesure, en descendant, nous avons la solution de ce problème. En effet, on peut dire que nous créons un chemin entre le problème et la solution. Ce chemin se compose par l'ensemble des questions-réponses. Afin d'avoir une liste la plus pertinente et plus logique possibles des questions-réponses, nous avons suivi quelques conseils pour concevoir la base de cas RàPCC (présentés au chapitre trois¹). Par exemple, nous avons considéré une action par question.

La base de cas de notre système se compose de l'ensemble des cartes de résolution de problèmes. Ce système interactif favorise deux objectifs: d'une part saisir et stocker des cartes et d'autre part, suggérer des cartes similaires au problème en cours de résolution. Au début, nous avons une base de cas avec zéro carte. La base de cas commence à s'enrichir progressivement et au fur et à mesure que l'expert résout des problèmes en créant des cartes et en les stockant. Le système démarre par une question très générale. A chaque étape, l'expert pose une question ou donne une instruction afin de mieux préciser le problème. La première question de l'expert est en fonction des informations (symptômes) que le client fournira. Lorsque l'expert a eu les informations nécessaires par le client, il commence à poser des questions en utilisant le système.

L'objectif du diagnostic séquentiel est de minimiser le nombre de tests nécessaires pour arriver à un diagnostic et donc de réduire les risques et les coûts associés aux essais. Un autre point important à traiter par les concepteurs de systèmes est l'acceptabilité du système par les utilisateurs [Mcsberry, 2001b]. Selon cet auteur, il existe différentes formes de processus de diagnostic : dialogue mixed-initiative, dialogue cohérent et logique, dialogue pertinent, explication du raisonnement, tolérance pour les données incomplètes, analyse de sensibilité. Certains systèmes du RàPCC s'appuient sur une forme de dialogue « mixed-initiative » dans lequel l'utilisateur peut sélectionner à partir d'une liste de questions et ne pas seulement sélectionner les questions les plus utilisées dans le système [Aha, 1998] [Watson, 1997] [Aha et al., 1998]. C'est important de permettre à l'expert² (utilisateur du système) de proposer des informations et des solutions, non seulement parce qu'elles sont plus acceptables pour les experts, mais aussi pour augmenter et améliorer l'efficacité dans la résolution de problèmes. Il peut être possible que l'expert, se rappelle d'un cas similaire antérieur à sa propre expérience, et connaisse quelles descripteur du problème sont les plus importantes et pertinentes. Un autre aspect d'un dialogue « mixed-initiative » est de savoir si l'expert peut proposer une *opinion*. Un système qui ne prend pas en compte l'opinion de l'expert manque une occasion de faire participer au plus près l'expert dans le processus de résolution de problèmes ; ce qui peut générer un manque d'efficacité dans les résolutions des problèmes dans un système. Ainsi, il est possible dans un diagnostic de dépannage qu'un expert professionnel (l'expert du domaine) possède une bonne idée de l'origine du problème et ainsi, l'expert considérera le

¹ Cf. (§ 3.2.4.)

² L'expert ici est l'utilisateur du système (dans un cas réel il pourra être un technicien)

système comme un moyen de confirmer son opinion. La mise à jour en continu des systèmes en répondant à des questions par l'expert est un moyen de fournir un retour d'expérience incrémental en RàPCC.

De ce fait, nous nous sommes appuyés sur l'idée de dialogue *mixed-initiative* dans la proposition du système¹. En effet, nous avons considéré la nécessité de sauvegarder les points de vue de l'expert pendant la résolution de problème, afin de ces de réutiliser les idées et les opinions lors de résolutions de cas similaires ultérieurs. Pour cela, nous proposons à l'expert qu'il sélectionne des questions à partir d'une liste. La sélection des questions continue jusqu'à au moment que l'expert identifie la nature de problème. Lorsque le problème est bien défini au cours de la résolution de problème, nous proposons après chaque question-réponse, un endroit nommé « *commentaires* », afin d'enregistrer toutes les informations additionnelles comme : l'avis de l'expert, des explications sur un cas particulier, et/ou tous les informations qui peuvent aider l'expert ultérieur dans la résolution d'un cas similaire.

4.10. Conclusion et attentes

Dans ce chapitre, nous avons classifié nos travaux en quatre étapes : description des événements (pannes), élaboration de l'ensemble des solutions à apporter aux pannes, mise en place d'une aide au diagnostic basé sur le principe des arbres de défaillances et finalement mise en place d'un système informatique.

Nous avons réalisé un état de l'art analytique dans l'entreprise afin de positionner les travaux. Cette étape prend en compte des études sur les différents types de machines fabriquées à l'entreprise ainsi que les pannes correspondantes du point de vue tacite et explicite. Nous avons ensuite créé des liens entre chaque panne et les symptômes liés pour définir la panne et sa solution. Cette élaboration nous permet d'avoir une vision générale de la situation des pannes. Nous avons proposé notre méthode de diagnostic des pannes à partir des conversations entre client-expert, sous forme des protocoles de décisions. Ceci est basé sur le principe des arbres de défaillances. Dans notre cas, nous privilégions le mode de raisonnement de l'utilisateur (expert) plutôt que des indices de similarités. Nous construisons des « chemins » qui sont autant de situation type entre un expert et un client. Ces chemins, ces modes de raisonnement, se traduisent par des séries de questions-réponses (des conversations). Nous élaborons donc des chemins que nous formalisons sous forme de « carte de résolution de problème » (basé sur l'ensemble des cas : chaque conversation est un cas). Le principe de notre méthode de création de la maquette informatique, pour le futur système diagnostic, est établi à partir de création de ces cartes de résolution de problèmes dans la base de cas.

¹ La maquette informatique sera proposée en chapitre cinq.

Nous pouvons rappeler les objectifs visés certains avantages de la méthode proposée :

- Le but de notre méthode est de faire un diagnostic plus correct et d'avoir une démarche plus cohérente et logique, ce qui permettra d'épargner du temps pour l'expert et le client, de réaliser un dépannage dans un délai plus court et enfin, de satisfaire le client.
- C'est un système d'aide à la décision ; ce système aide d'une part l'expert à avoir une démarche plus correcte pour résoudre un problème et d'autre part de sauvegarder une nouvelle idée (utile notamment pour les idées créatives de l'utilisateur pour une réutilisation ultérieure).
- Réduire les taux d'erreurs du diagnostic.
- Les experts seront plus autonomes pendant le dépannage. Ils auront moins besoin de l'aide des autres personnes au cours de la résolution du problème.
- Réduction des nombre de contacts pour le même problème.
- Cette proposition devrait être plus avantageuse pour les experts moins expérimentés ou les novices. Elle permettra d'assister les utilisateurs novices ou peu expérimentés. L'utilisation de ce système par les experts novices et les aidera à la fois à former et à apprendre des démarches efficaces de résolution de problèmes. Ainsi, les novices n'auront pas forcément besoin d'être des experts dans un domaine particulier en raison de la simplification du travail par des questions-réponses organisées dans le système.
- Retour d'expérience et capitalisation de connaissances réalisées systématiquement avec chaque dépannage.
- Amélioration de la résolution de problèmes apportant une augmentation de la qualité de service.
- Les experts auront plus de temps pour résoudre les problèmes nouveaux voire plus compliqués.
- Les interventions des experts seront limitées d'une manière significative. Cela sera moins onéreux pour le client.

CHAPITRE 5:

**APPLICATION : UN SYSTEME DE RETOUR
D'EXPERIENCE BASE SUR LE RAPCC : APPLIQUE A LA
GESTION DES PANNES DE MACHINES INDUSTRIELLES**

5.1. Introduction

Le chapitre cinq est consacré au développement des démarches de retour d'expérience et à la proposition de notre système d'aide au diagnostic et réparation dans le service-après vente d'une entreprise. Nous développons un outil de retour d'expérience d'expert comme une mémoire d'entreprise en utilisant le raisonnement à partir de cas conversationnel.

Nous présentons le contexte industriel ainsi que les démarches réalisées afin de préciser le cadre d'étude de nos travaux. Une fois que nous faisons notre choix, nous expliquerons les démarches de retours d'expérience des experts par la préparation des protocoles de décisions en se basant sur les entretiens réalisés pour le diagnostic et la réparation. Nous proposons ensuite, une architecture de notre système. Nous présentons une ontologie pour montrer les relations entre les différents concepts définis dans un système de pliage. Nous décrivons la hiérarchisation des informations dans la base de cas. Nous exposerons, ensuite, comment la base de cas est formalisée. Finalement, nous proposons la maquette conçue pour l'entreprise.

5.2. Objectif expérimental et démarche

Nous avons engagé une phase expérimentale dans une entreprise. Cette confrontation in situ avait pour objectif :

- Premièrement, de valider notre proposition méthodologique. Même si une unique expérimentation ne suffit pas à long terme nous avons voulu vérifier que la méthodologie était opérante. Plus précisément, nous nous sommes basés sur le principe de pertinence. Nous avons estimé que nos propositions étaient validées si premièrement l'utilisation de la méthode générait des données réexploitables (dans notre cas la base de cas permet-elle d'établir vraiment des diagnostics ?).
- Deuxièmement, la pertinence est jugée également par l'aspect « diffusable » de la méthode en interne. Plusieurs individus sont-ils aptes à utiliser nos propositions suite à une première prise de contact ?
- L'expérimentation visait aussi à mettre en évidence les limites de nos propositions :
 - Certain cas ne peuvent pas être traités,
 - Pré-requis sont nécessaires pour utiliser la demande du client,
 - Temps nécessaire pour utiliser la méthode,
 - Le contrain de temps industriel ne favorise pas à une utilisation efficace de la méthode.

- Enfin, l'expérimentation avait pour objectif de mieux comprendre les phénomènes de RETEX in situation à mieux appréhender les différences tacites/explicite, les freins au raisonnement associé au diagnostic, les problèmes réels de collecte d'informations

L'expérimentation a duré sur la période de 18 mois. Durant ce délai, nous avons collaboré avec six personnes, ce qui représente plus d'une centaine de séances de travail. Un compte rendu était établi à l'issue de chaque journée.

5.3. Contexte industriel

Nous avons choisi de travailler dans une entreprise à l'Est de la France, située dans les Vosges. Elle est spécialisée en conception et fabrication de machines-outils à commande numérique pour le travail des fils, tubes et feuillards métalliques. Le choix de cette entreprise repose sur les critères suivants :

- La situation géographique. Nous avons retenu une entreprise basée en Lorraine, ce qui nous permettait d'être présent dans la société et de nous adapter facilement aux disponibilités des personnels.
- Le soutien de la direction pour notre travail
- L'adéquation de la problématique industrielle à nos objectifs expérimentaux
- La taille de l'entreprise : le nombre d'expert à consulter était assez faible (travail possible avec l'ensemble) tout en permettant de couvrir un long spectre de cas.

Le Service Après-Vente (SAV) de cette entreprise désire mieux exploiter sa base de retour d'expériences des dépannages sur les machines livrées chez ses clients. Ces retours d'expériences sont actuellement sous une forme essentiellement textuelle et donc difficilement exploitable informatiquement. L'objectif est la mise en œuvre de moyens pour exploiter ces fiches et les représenter sous une forme manipulable par un système RàPCC.

In fine la stratégie de l'entreprise vise à répondre au plus vite aux attentes des clients et de leur apporter un service toujours plus performant et plus rapide. Elle cherche à mémoriser ses expériences et savoir-faire en vue de les réutiliser lors de situations similaires ultérieures. Départs massifs en retraite des employés les plus expérimentés, mutations ou licenciements des acteurs sont des facteurs importants qui attirent l'attention de dirigeants de l'entreprise afin de mémoriser et de formaliser les connaissances tacites des acteurs de l'entreprise.

5.3.1. Présentation de l'entreprise

Cette entreprise vosgienne est constituée de trois groupes (trois marques différentes) en France. Elle possède 150 collaborateurs et vend chaque année 100 machines. Elle achète des composants chez 1500 fournisseurs référencés. La concurrence française est inexistante, et sur le marché mondial, cette entreprise occupe une position de leader dans le pliage de fil et se positionne parmi les premiers constructeurs dans le façonnage du tube.

L'activité essentielle sur laquelle repose l'entreprise est la conception de deux types de machines sur demande des clients : les machines standards et les machines spéciales. La conception des machines standards est considérée comme une production habituelle de l'entreprise. Ces machines ont déjà été fabriquées plusieurs fois. Tandis que les machines spéciales sont conçues et produites pour les pièces complètement nouvelles. A chaque commande d'une machine spéciale, sa conception devient une affaire toute à fait différente. Les machines sont fabriquées à destination de l'activité automobile, du mobilier extérieur et intérieur, de la grande distribution et de l'électroménager, etc.

5.3.2. Problématique industrielle

Pour l'entreprise, il s'agit de mieux formaliser le retour d'expérience des experts métier sur les pannes et dépannages, en utilisant le raisonnement à partir de cas conversationnel. Pour y contribuer, nous déterminons dans une base de cas de référence (cartes de résolution de problème et leurs solutions), quelles sont les cartes les plus proches ou analogues au cas étudié ou à traiter. Les experts métier pourront ainsi étudier ces cartes analogues ou similaires afin de délivrer leur diagnostic et de proposer une réparation. Cette mémoire représentera un outil d'aide à la décision lors de la résolution de futurs problèmes de pannes ou dépannages à venir. Nous allons dans ce paragraphe décrire les principaux problèmes industriels à résoudre. On peut en suite d'introduction les classer comme suit :

Les moyens de communication du SAV avec leurs clients s'effectuent principalement par le téléphone, le fax et le courriel électronique. Les clients s'adressent au SAV lorsqu'ils ont une panne ou un dysfonctionnement de leurs machines. Les techniciens¹ du SAV prennent en compte les informations fournies par le client, font appel à leurs savoir-faire et à leurs expériences antérieures ainsi qu'aux documents techniques et lui proposent une démarche de résolution de problème. La Gestion de Production Assistée par Ordinateur (GPAO) dispose d'un module de SAV qui permet aux techniciens de remplir des fiches de dépannage nommée « fiche d'appel ». Le technicien devrait remplir une fiche d'appel (figure 26) après chaque dépannage sur le support de GPAO. Les fiches d'appel sont sauvegardées dans le support

¹ Les techniciens du SAV possède des différentes compétences (électrique, mécanique).

GPAO mais elles ne sont pas d'un accès facile et ne sont pas bien formalisées. De ce fait, certains problèmes apparaissent ainsi dans la démarche d'enregistrement des fiches d'appel:

- Les techniciens ne remplissent pas régulièrement et correctement les fiches.
- La plupart des techniciens affirment que ces fiches ne sont pas exploitables ultérieurement.
- Elles sont remplies de manière libre, dans un format textuel, et sont difficilement réutilisables.
- Elles sont souvent incomplètes (certains éléments du dialogue manquent)

Date : 21/05/2007

Fiche Appel SAV

| | |
|---|---|
| <p>N° d'appel : 2309 Employé : 07 Date appel : 18/05/2004 Heure début d'appel : 10:00 Heure Fin d'appel : 10:16 N° d'affaire : 11948 N° Série : Type : PANNE</p> | <p>Thème : ELECTRIQUE Sous thème : MOTEUR BRUSHLESS Client : 247 N° pointage : 0 N° Commande P.EXPERTON15/10/01</p> |
|---|---|

Observation(s)

ARMABOX F412 G4 N°1059
PB: lors de mise en puissance de la machine la ligne d'alimentation machine declenche
==>recherche du variateur en court circuit
Le variateur de l'axe et en défaut et n'affiche aucun défaut sur l'afficheur
==>envoi par taxi d'un variateur DSD16/32 pour moteur HD650EK
Appel du client l'axe 1 affiche un défaut "6"
==>faire verifier le cablage moteur et variateur faire sonder le cable puissance
Un electricien a sondé le cable pas de probleme apparent
==>intervention d'un technicien lundi apres midi
Constatation technicien:
* défaut 9 sur moteur axe1 (moteur HS)
* pas de mise en puissance var axe0 (ok si shunt RD var axe0)
==>echange moteur axe1 + var axe0
La machine a produit 8h et est tombé en panne suite à un AU provqué par l'ouverture d'une porte
==>controle défaut sur vars
Défaut 2 sur var axe1
==>controle connectique et cable resolver
k pas de probleme de cable ni de variateur le défaut suit le moteur
==>retour du moteur chez PARVEX pour expertise et reparation
Défaut sur resolver
==>remontage du moteur sur machine : OK

1
changement du moteur axe1
changement variateur axe1
changement variateur axe0
#MOTEUR PARVEX+VARIATEUR DSD#

Figure 26. Exemple d'une « fiche d'appel » [Source : Archives de l'entreprise]

Cette fiche est constituée de trois parties (figure 26) :

- Le premier cadre en haut, concerne les informations générales et administratives comme le nom du client, le numéro de commande, le numéro d'appel, la date et l'heure d'appel, le thème, le sous-thème associé, le numéro de la personne qui intervient, et le type de problème.
- Le deuxième cadre au milieu, est la partie d'observation. On y trouve la description du problème suivi d'une série d'informations comme « action » et « résultat » sous forme de textes non formalisés et en langage naturel. Chaque « action » présente une opération demandée par le technicien auprès du client. Un « résultat » présente la conséquence de l'action demandée.
- La partie en bas de la fiche contient trois éléments : le problème apparu finalement, la solution apportée (pièce échangée,...) et l'autonomie représentée en chiffre. L'autonomie signifie le nombre de personnes qui ont participé à la résolution d'un problème.

Ces fiches doivent leur servir comme base d'expérience afin d'être utilisées dans les réparations futures, tandis qu'elles sont archivées comme des informations inutiles dans la base de données. D'autres problèmes que nous pouvons citer dans l'entreprise sont :

- Réduire le temps de dépannage et la résolution de problème
- Avoir une analyse de la panne plus rapide,
- Les techniciens du SAV soient plus autonomes. C'est-à-dire qu'un technicien soit capable de régler un problème sans avoir besoin d'une assistance au cours d'une réparation. Pour cela, l'entreprise souhaite avoir des outils pour être plus rapide au stade du diagnostic. Les techniciens du SAV possède différentes compétences (mécanicien, électricien, électrotechnique, automatique...). Lors d'une panne quelque soit leurs spécialités, ils interviennent pour la réparation globale de la panne. L'entreprise souhaite transférer des connaissances sur des métiers peu formalisés. Ceci intègre le fait de former des personnes dont l'efficacité et les performances sont inférieurs à leurs collègues.
- Le SAV obtient 40-50 appels par mois. environ 60% des pannes sont communes entre les différentes machines. La durée de la résolution de problème pourra être de jusqu'à quelques mois pour les problèmes complexes. L'entreprise souhaite diminuer le temps de diagnostic pour les pannes plus fréquentes.
- Améliorer les descriptions des problèmes pour qu'elle soit exploitable pour les différents interlocuteurs.
- Assurer l'assistance des clients 24h/24H,

- Il est souhaitable que le travail puisse être porté sur les autres groupes de l'entreprise. Car objective de SAV est de faire aussi SAV pour le groupe.

5.3.3. Cadre d'étude

Cette partie concerne l'ensemble des activités que nous avons réalisées dans une première étape afin de nous rapprocher de nos recherches industrielles. Nous commençons par la description des machines fabriquées dans l'entreprise et plus particulièrement la machine que nous avons étudiée. Ensuite, nous appliquons des études statistiques et analytiques sur la situation existante dans l'entreprise afin de mieux comprendre le cadre de nos travaux. Les études statistiques nous permettront cibler nos travaux sur les pannes les plus rencontrées au SAV.

5.3.3.1. Les machines fabriquées dans l'entreprise

Les machines fabriquées dans cette entreprise ont été présentées dans le tableau 5. Chaque machine est identifiée avec deux paramètres : le nombre d'axes et le diamètre de tube à plier. Plus il y a d'axes plus les machines sont compliquées. Par exemple : la machine F36 est une machine possédant trois axes (orientation, avance, pliage) avec un diamètre de fil de 6 mm maximum acceptable par la machine. Dans les machines « FX », X représente les multi axes, c'est à dire de 4 à 8 axes, voire plus.

| | Différents type de machines | Nombre d'axes | Diamètre de tube (mm) |
|----|-----------------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | F24 | 2 | 4 |
| 2 | F34 | 3 | 4 |
| 3 | F36 | 3 | 6 |
| 4 | F37 | 3 | 7 |
| 5 | F38 | 3 | 8 |
| 6 | F408 | 4 | 8 |
| 7 | F410 | 4 | 10 |
| 8 | F412 | 4 | 12 |
| 9 | F413 | 4 | 13 |
| 10 | F414 | 4 | 14 |
| 11 | FX07 | 9 | 7 |
| 12 | FX10 | 9 | 10 |
| 13 | FX13 | 9 | 13 |
| 14 | FX10N | 9 | 10 |
| 15 | FY12 | 9 | 12 |

Tableau 5. Présentation des machines produites dans l'entreprise [Source : Notre recherche]

Parmi toutes les machines citées ci-dessus, nous avons choisi la machine « F37 » comme application de nos recherches. Avec trois axes, elle est moins compliquée par rapport

aux autres machines à aborder pour un non-spécialiste. Elle fait surtout partie des machines essentielles en terme de chiffre d'affaires.

5.3.3.2. Description de la machine F37

La machine F37 est une machine de pliage avec trois axes : l'axe zéro, aménage (terme utilisé à l'entreprise pour l'alimentation et l'avancer du fil), permet l'avancer du fil, l'axe 1 (tournette) est l'axe du pliage et l'axe 2 (orientation) est l'axe permettant l'orientation de la pièce. Cette machine peut plier des fils jusqu'à des diamètres de 7 mm. La machine F37 est une combinaison de 13 composants différents (Annexe1). La variation Parvex¹ situé dans l'armoire électrique est un composant particulièrement critique. La variation Parvex (le terme utilisé dans l'entreprise) se compose d'un ensemble de variateurs (variateur de chaque axe) ainsi que d'une alimentation Parvex. C'est cet élément qui alimentera nos travaux de recherche (figure 27 et 28). Nous allons présenter quelques études statistiques dans la section suivante afin de justifier notre choix.

5.4. Description de la mise en œuvre de notre démarche à l'entreprise

Cette partie est consacrée au volet expérimental et au test de notre système d'aide au diagnostic. Conformément au chapitre quatre nous décrivons la mise en application des différentes phases :

- Description des événements (pannes)
- Élaboration de l'ensemble des solutions à apporter aux pannes
- Mise en place d'une aide au diagnostic par des protocoles de décision
- Mise en place d'un système informatique

Dans cette partie, nous exposons la mise en place, phase par phase, de la méthodologie. Nous explicitons pour chaque étape : les activités que nous avons assurées, les sources d'information et les résultats.

¹ Parvex est une marque. Le terme est utilisé dans l'entreprise, en raison de la présence de différents variateurs sur une machine. Le « Variation Parvex » est constitué de plusieurs composants dont un est le « variateur d'axe » (c'est à dire un variateur pour chaque axe de la machine). Pour simplifier nous utiliserons le terme « variateur » dans nos travaux.

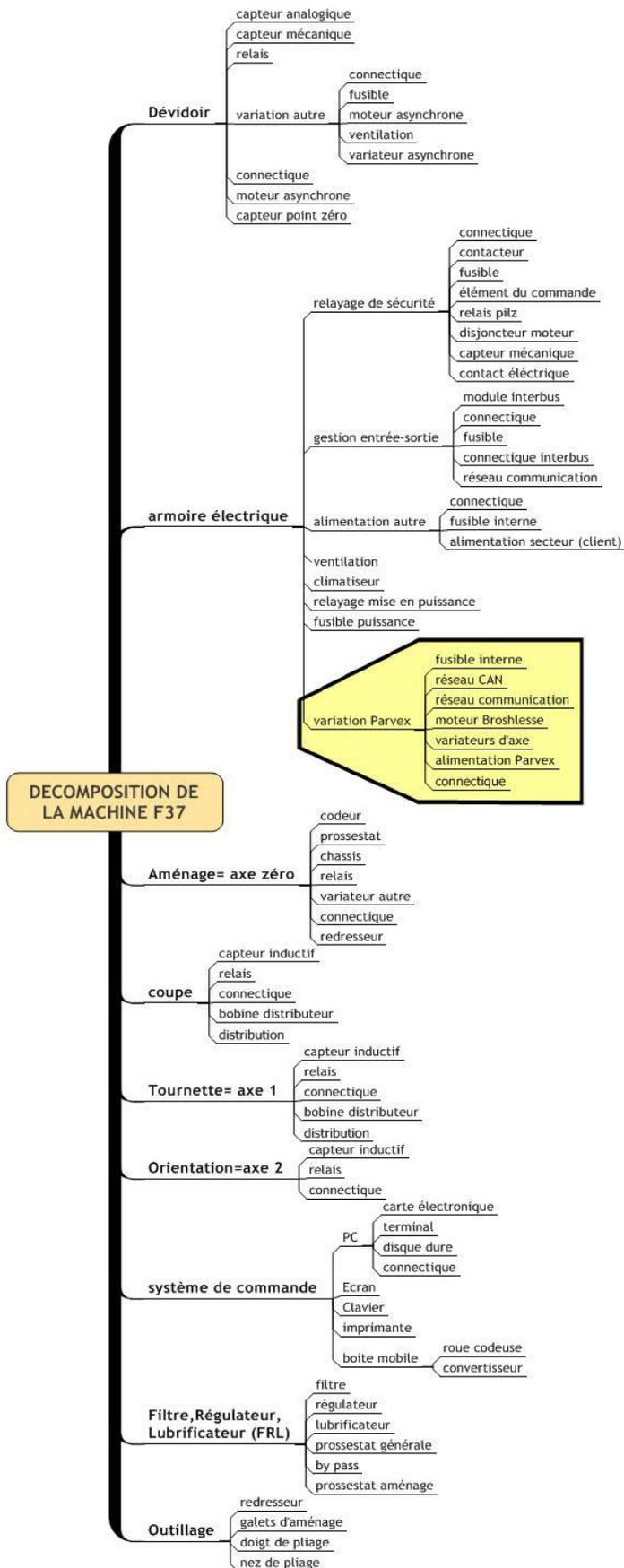


Figure 27. Composant de la machine F37
[Source : Notre recherche]

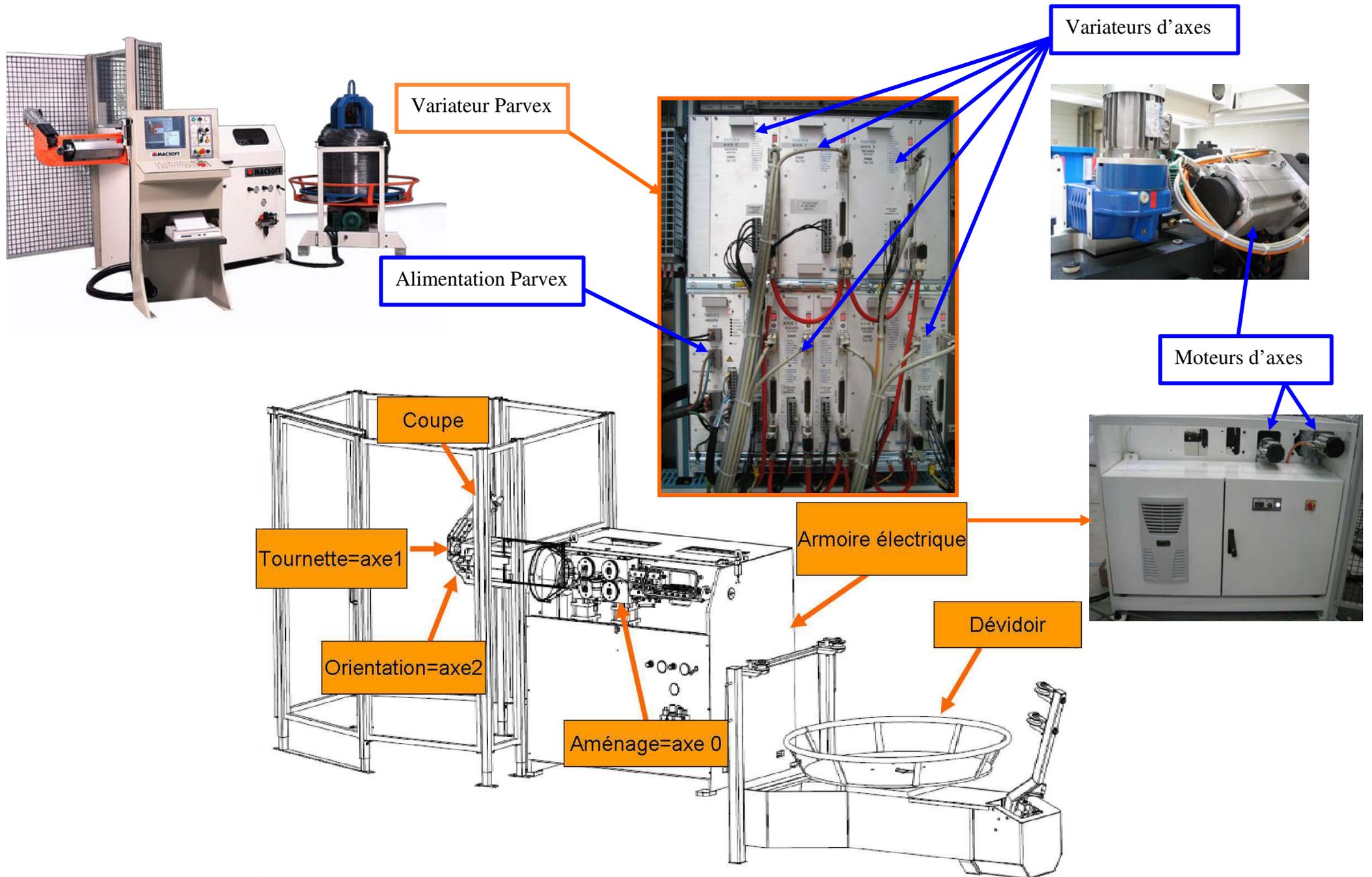


Figure 28. Architecture de la machine standard F37

5.4.1. Description des événements : compréhension des phénomènes de pannes

5.4.1.1. Étude statistique des pannes

Une étude analytique a été réalisée sur les pannes rencontrées dans l'entreprise du 1999 au 2007. Ce sont les seules années où l'entreprise est archivée ses « fiches d'appels ». Ce sont des relevés (voir figure 26) qui consignent le type de pannes et quelques observations du technicien impliqué. L'ensemble est classé dans le système GPAO. Notons que sous l'intitulé « thème », l'entreprise indique le domaine technique qui concerne la panne (exemple : électrique). Nous verrons que les « sous-thèmes » représentent des sous-ensembles de la machine.

Le nombre total d'appels de pannes (et donc de fiches d'appels traitées) rencontrées aux SAV sur les deux années étudiées est de 3412. Avec 1699 appels c'est le problème électrique qui est le plus important. Nous avons donc axé nos recherches sur ce point¹ (figure 29).

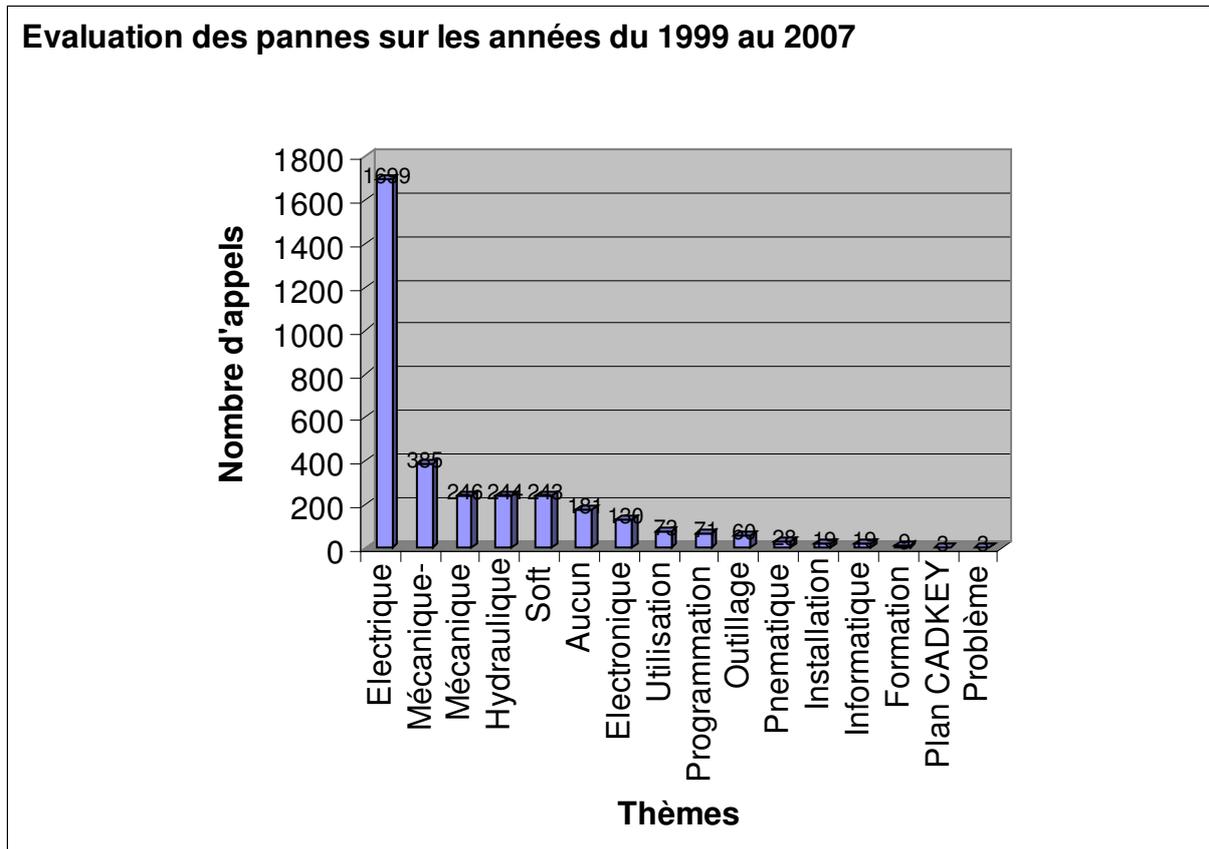


Figure 29. Évaluation du nombre de pannes par rapport aux thèmes du 1999 au 2007
[Source : Notre recherche]

¹ Voir aussi Annexe 3

Nous avons construit la figure 30 par une étude statistique. Les sous-thèmes du problème électrique sont expliqués sous forme décroissante. Ces sous-thèmes correspondent, en fait, aux composants qui sont victimes de panne. On en compte 72 (Annexe 2).

La « variation Parvex » est le composant le plus défectueux. Nous avons donc porté notre choix sur la variation Parvex. D'autres composants : le « moteur Brushless¹ », le « variateur d'axe » et « l'alimentation Parvex », « réseau CAN », « réseau/ communication » et le « fusible interne » sont étroitement associé physiquement et en terme de fonctionnement au variation Parvex. Ils causent en effet, les mêmes problèmes. Ils ont classé aux rangs 1, 2, 7, 42, 65 et 23 (Annexe 2). Tous sont montés au sein d'une armoire électrique (à part de moteur qu'il s'est situé un sur chaque axe). Nous privilégions, dans la suite de nos travaux, de remplacer le terme « variation Parvex » par le terme « variateur ».

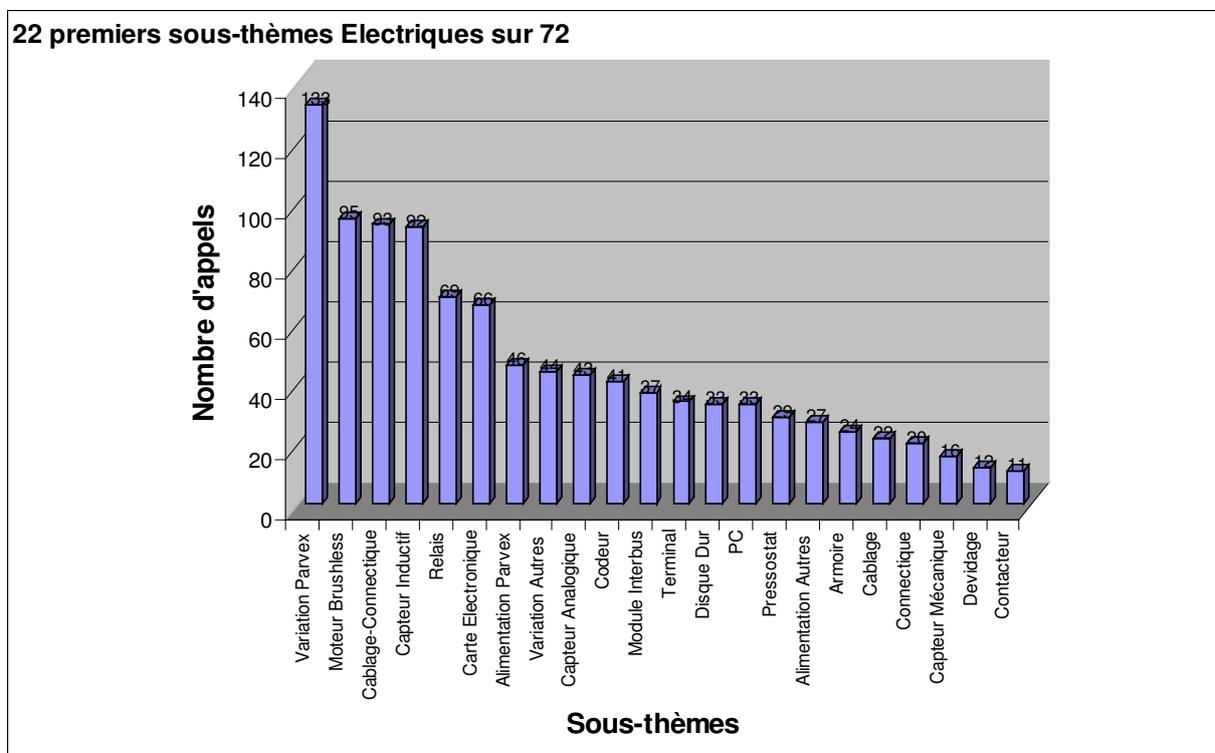


Figure 30. Évaluation du nombre de pannes par rapport aux sous-thèmes électrique du 1999 au 2007 [Source : Notre recherche]

5.4.1.2. Regroupement des thèmes et sous-thèmes

Après analyse, nous avons constaté que les seize familles de problèmes du système GPAO (figure 29) concernaient des composants victimes de pannes identiques à la famille « problème électrique » (identique pour les autres thèmes). Ainsi, tenant compte des seuls composants, nous avons établi une nouvelle classification en six familles de problèmes. Les

¹ « Brushless » est la marque lié au variateur. Nous utiliserons le mot moteur par la suite

thèmes électriques et électroniques sont mis ensemble, la mécanique, l'hydraulique et la mécanique-hydraulique ont été regroupées dans un même thème et la formation, l'utilisation et la programmation des pièces sont dans le même groupe. Certains thèmes ont été supprimés en raison de redondance leur inutilité (figure 31, ci après).

La figure 31 représente le nombre d'appels par rapport à la nouvelle classification. On constate qu'avec cette nouvelle organisation, les pannes électriques-électroniques avec 1829 appels sur deux ans sont toujours prépondérantes par rapport aux autres.

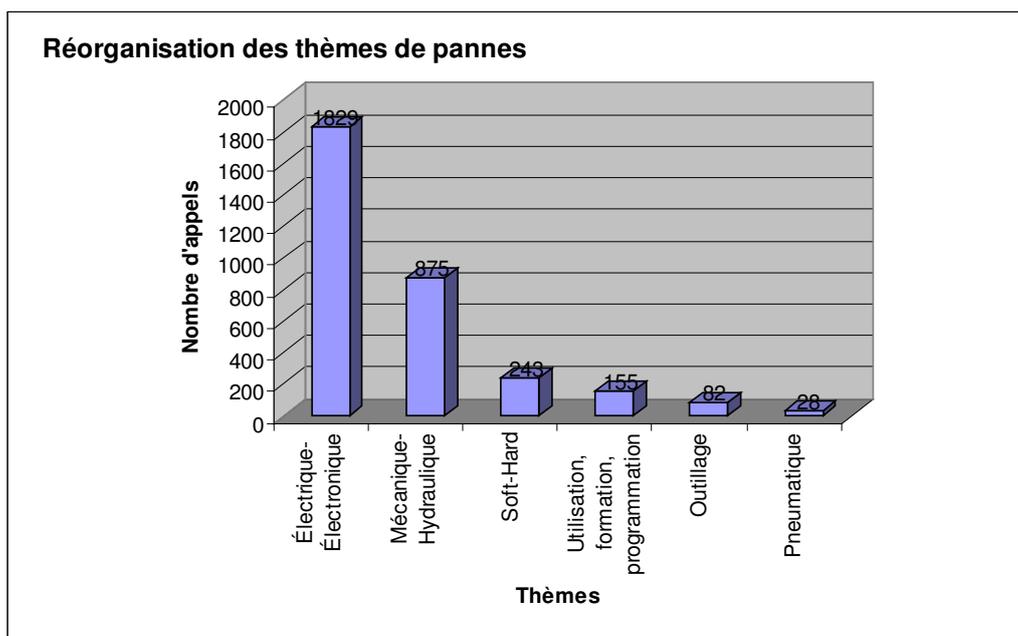


Figure 31. Nouvelle organisation proposée sur les nombres de pannes par rapport aux thèmes [Source : Notre recherche]

Le thème électrique-électronique intègre désormais 68 sous-thèmes (tableau 6 et figure 32). Le variateur reste toujours le composant le plus défectueux.

| | Sous-thèmes Électrique-Électronique | Nombres d'Appels |
|----|-------------------------------------|------------------|
| 1 | Variation Parvex | 133 |
| 2 | Moteur Brushless | 95 |
| 3 | Câblage-Connectique | 93 |
| 4 | Capteur Inductif | 92 |
| 5 | Relais | 69 |
| 6 | Carte Électronique | 66 |
| 7 | Alimentation Parvex | 46 |
| 8 | Variation Autres | 44 |
| 9 | Capteur Analogique | 43 |
| 10 | Codeur | 41 |
| 11 | Module Interbus | 37 |

| | Sous-thèmes Électrique-Électronique | Nombres d'Appels |
|----|-------------------------------------|------------------|
| 12 | Terminal | 34 |
| 13 | Disque Dur | 33 |
| 14 | Pressostat | 29 |
| 15 | Alimentation Autres | 27 |
| 16 | Armoire | 24 |
| 17 | Connectique | 20 |
| 18 | Dévidage | 12 |
| 19 | Contacteur | 11 |
| 20 | Fusible | 9 |
| 21 | Alimentation | 9 |
| 22 | Pliage | 9 |

| | Sous-thèmes Électrique-Électronique | Nombres d'Appels |
|----|-------------------------------------|------------------|
| 23 | Variateur Fréquence | 8 |
| 24 | Ventilation | 8 |
| 25 | Élément de Commande | 8 |
| 26 | Moteur Asynchrone | 7 |
| 27 | Chanfreinage | 7 |
| 28 | support informatique | 7 |
| 29 | Emboutissage | 6 |
| 30 | Boîtier Roland | 6 |
| 31 | Aménage | 5 |
| 32 | Climatiseur | 5 |
| 33 | Soudeuse | 5 |
| 34 | Commande numérique | 5 |
| 35 | Alimentation Schroff | 4 |
| 36 | Onduleur | 4 |
| 37 | CN VME | 4 |
| 38 | Unité de Coupe | 3 |
| 39 | Relais Pils | 3 |
| 40 | Variateur Autres | 3 |
| 41 | Réseau Can | 3 |
| 42 | Sécurité | 2 |
| 43 | Motoréducteur Dévidoir | 2 |
| 44 | Imprimant | 2 |
| 45 | Chariot | 2 |

| | Sous-thèmes Électrique-Électronique | Nombres d'Appels |
|----|-------------------------------------|------------------|
| 46 | Roue Codeuse | 2 |
| 47 | Disjoncteur Moteur | 2 |
| 48 | Cellules Photoelectre | 2 |
| 49 | Matériel Electromeca | 2 |
| 50 | Règle de Mesure | 2 |
| 51 | Pompe | 2 |
| 52 | Régulation de Réglage | 2 |
| 53 | Module Interbus | 1 |
| 54 | Bras de Cintrage | 1 |
| 55 | Robot | 1 |
| 56 | Post de Reprise | 1 |
| 57 | Press | 1 |
| 58 | Connectique Interbus | 1 |
| 59 | Chanfreinage Électrique | 1 |
| 60 | Indicateur Colmatage | 1 |
| 61 | Réseau/Communication | 1 |
| 62 | Alimentation Secteur | 1 |
| 63 | Bobine Distributeur | 1 |
| 64 | Cellules Laser | 1 |
| 65 | Convertisseur | 1 |
| 66 | Contact Électrique | 1 |
| 67 | tête centrale | 1 |
| 68 | IHM | 1 |

Tableau 6. Sous thèmes du problème Électrique-Électronique et nombre d'appels
[Source : Notre recherche]

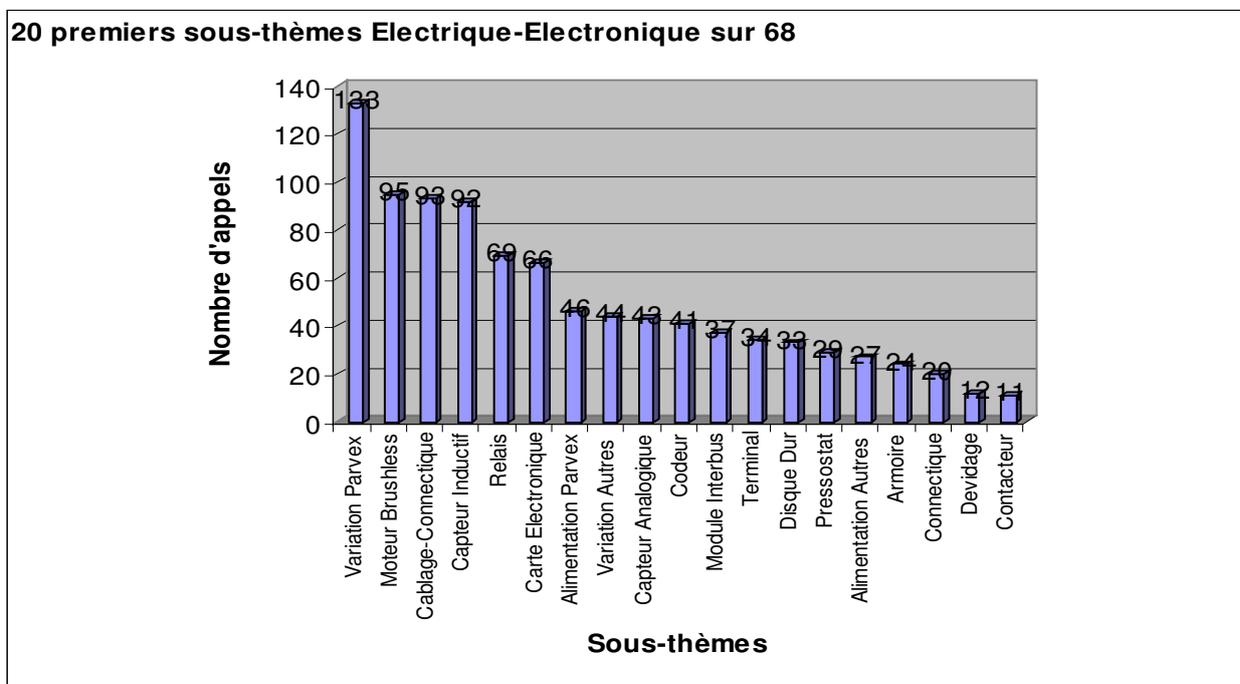


Figure 32. Réorganisation du nombre de pannes par rapport aux sous-thèmes Électrique-Électronique
[Source : Notre recherche]

5.4.1.3. Approche détaillée des phénomènes de pannes par composant

Dans cette partie nous établissons un lien entre les composants causes de pannes et les problèmes rencontrés. Chaque composant du variateur Parvex est associé à un ou plusieurs problèmes préliminaires (par exemples : résolveur, frein, roulement, paramétrage,...) présentés dans la figure 33.

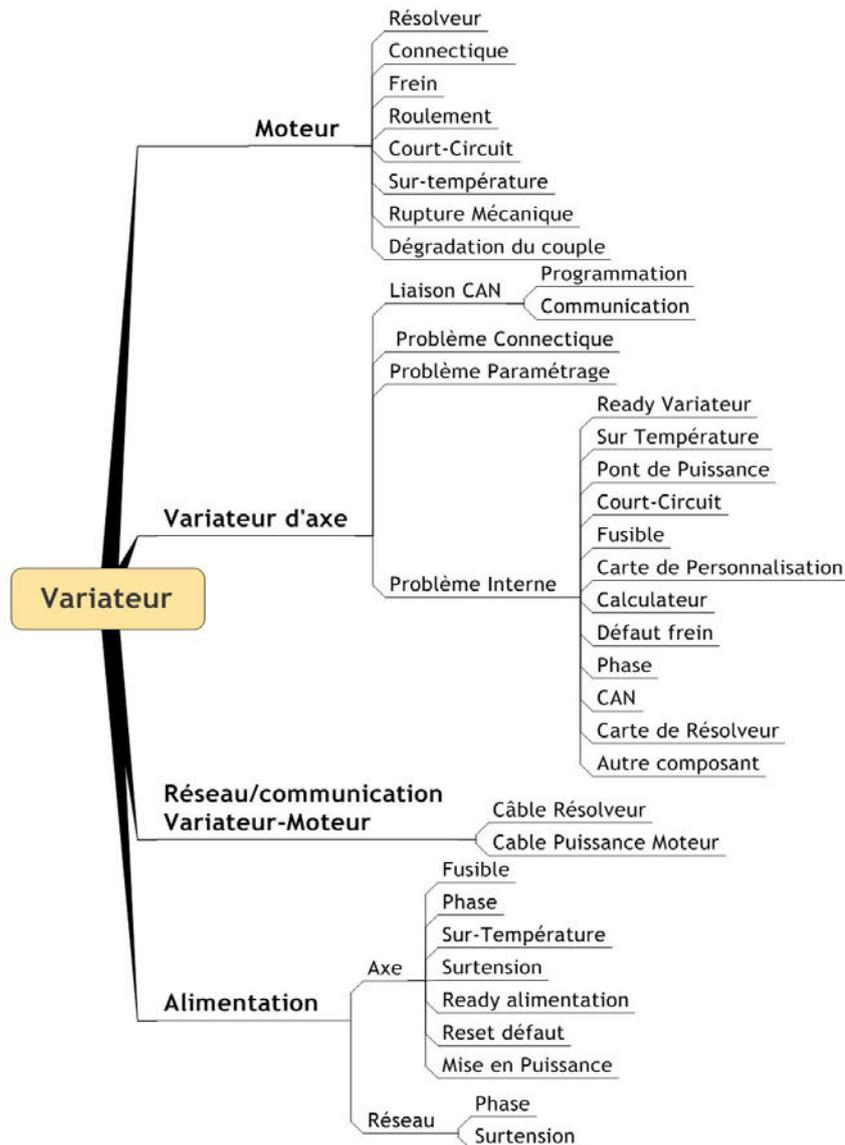


Figure 33. Les problèmes liés aux composants du variateur [Source : Notre recherche]

La figure 33 est établie à partir de : recueils de données, nombreux entretiens et animation d'équipe et documents techniques du SAV. Cette collecte d'information, nous permet de déterminer un second niveau descriptif. La figure 34 complète donc la figure 33. On constate ce deuxième niveau de problèmes comprend des éléments répétitifs : c'est à dire que ces pannes surviennent à plusieurs composants. Par exemple : « rupture résolveur » touche le résolveur, la connectique, le frein et la connectique du variateur d'axe.

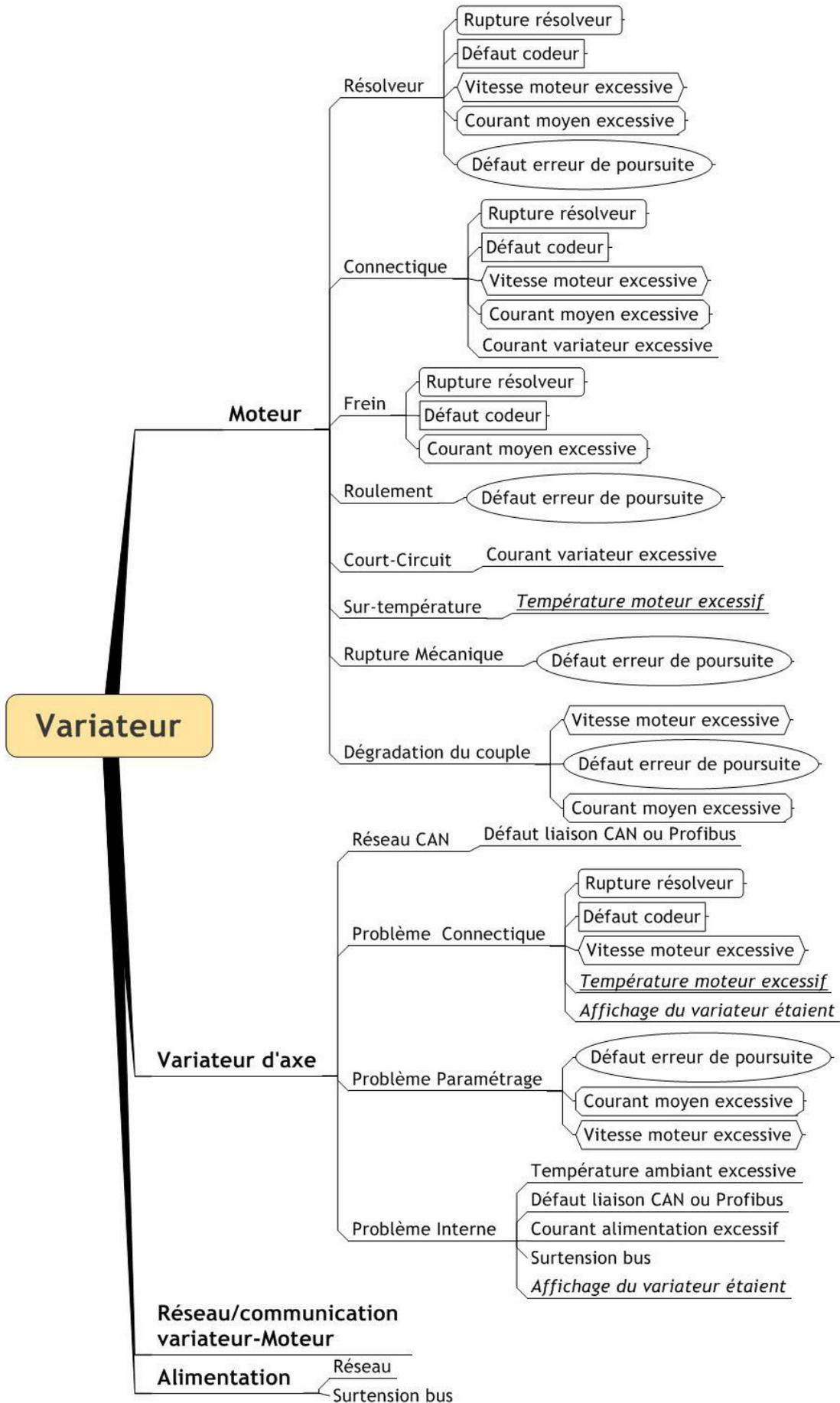


Figure 34. Nouvelle composition des problèmes [Source : Notre recherche]

La description des problèmes du variateur est décrite dans le tableau 7 :

| | Problèmes | Descriptions des problèmes |
|----|---|--|
| 1 | Rupture résolveur | Le résolveur est le capteur de position d'axe ; il contrôle la position d'axe. L'absence de résolveur ou une défaillance dans le câblage de ce dernier sont détectés. |
| 2 | Problème codeur | Le codeur contrôle la position du fil (il est toujours sur l'axe 1). L'absence de codeur ou une défaillance dans le câblage de ce dernier sont détectés |
| 3 | Température ambiante excessive/ dispatcheur excessive | Une sonde thermique placée entre les cartes électroniques détecte une température ambiante excessive et provoque le déclenchement [power off]. Il n'y a pas de défaut pour une température inférieure à 70°C. Si la température du dispatcheur se situe entre 70°C et 94°C, le courant impulsionnel du variateur est réduit linéairement de 2% en °C (soit une réduction de 50% du courant impulsionnel à la température de 94°C). Lorsque la température atteint 95°C, le défaut entraîne un déclenchement [power off]. |
| 4 | Vitesse moteur excessive (en tr/min) | La vitesse du moteur a dépassé de 15% la valeur maximale attribuée dans la base des données. Ce défaut indique le franchissement d'une limite technologique. |
| 5 | Courant alimentation excessif | Il s'agit du courant à l'entrée du variateur. Le fusible protégeant l'alimentation est vraisemblablement détruit |
| 6 | Courant variateur excessif | Il s'agit du courant de sortie du variateur. Ce dernier a dépassé le courant impulsionnel de 30%. L'impédance de charge n'est pas adaptée. |
| 7 | Courant moyen/ efficace excessif | Le défaut est détecté lorsque le courant moyen égale ou dépasse le courant permanent admissible par le variateur. Pour empêcher l'échauffement excessif des bobinages du moteur, une surveillance du courant efficace est réalisée Selon la stratégie adoptée, ce défaut peut : <ul style="list-style-type: none"> - Conduire à l'ouverture du contacteur principal [power off] ou - Réduite le courant variateur à 90% du courant permanent admissible par le variateur. Ce type de défaut survient lorsque l'accélération demandée nécessite un courant supérieur au courant permanent du variateur et persiste trop longtemps. |
| 8 | Surtension bus | Une anomalie s'est produite lors de la récupération de l'énergie de freinage. <ul style="list-style-type: none"> - Pour les modules à renvoi d'énergie sur résistance : cycle de récupération excessif ou résistance de freinage hors service. - Pour les modules à renvoi d'énergie sur le réseau : une déconnexion du réseau s'est produite lors d'une récupération. |
| 9 | Température moteur excessive | Le moteur est muni d'une sonde thermique incorporée aux bobinages. Une température excessive provoque la détection d'un défaut. |
| 10 | Problème liaison CAN ou Profibus | Un incident s'est produit lors des échanges du variateur positionneur avec le P ou avec les autres abonnés sur le bus de communication CANopen ou Profibus. |
| 11 | Exécution programme | Une erreur de programmation a été détectée. Une indication complémentaire concernant la nature de l'erreur est fournie. |
| 12 | erreur de poursuite | Ce défaut peut être généré par un problème d'ordre mécanique point dur, contrainte anormale |
| 13 | Affichage du variateur éteint | Dans ce cas, il n'y a plus d'information sur l'affichage de variateur. |
| 14 | Problème alimentation | Ce défaut génère des problèmes pour alimenter le système |
| 15 | Problème VAR/OK | Ce défaut génère des problèmes pour mettre en puissance des variateurs |

Tableau 7. Description des problèmes du variateur

5.4.1.4. Intégration de données formelles et informelles

Après avoir expliqué de manières détaillées et quantitativement les phénomènes pannes, nous avons créé des catégories dans ces phénomènes. Puis nous avons établi les liens entre les pannes et les composants du variateur. En fin, pour compléter cette étude menée en interne de l'entreprise, nous avons intégré à la démarche, des éléments explicites supplémentaires. Il s'agit des écrans d'affichages de l'automate de la machine F37. Un écran d'affichage signal, en effet, des défauts en cas de panne ou dysfonctionnement. Ces défauts résultent d'une donnée transmise par l'un des capteurs (tableau 8).

| Symptômes (S) | Affichage (écran) de la machine F37 |
|---------------|---|
| S3 | Défaut 2 apparaisse sur le variateur de l'axe dès la mise sous tension. |
| S5 | Défaut 2 clignotant apparaît sur le variateur de l' dès la mise sous tension. |
| S6 | Défaut 3 apparaît sur variateur de l'axe apparaisse dès la mise sous tension. |
| S7 | Défaut 4 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S8 | Défaut 5 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S9 | Défaut 6 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S10 | Défaut 7 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S11 | Défaut 8 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S12 | Défaut 9 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S14 | Défaut B apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S15 | Défaut P apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S16 | Défaut U apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |
| S18 | Aucune information sur l'affichage du variateur d'axe |
| S24 | Led phase ¹ (en rouge) |
| S25 | Led sur température (en rouge) |
| S26 | Led surtension AC (en rouge) |
| S27 | Led surtension DC (en rouge) |
| S29 | Défaut 0 apparaît sur l'affichage du variateur d'axe |

Tableau 8. Descriptions des symptômes rencontrés par client lors d'une panne sur l'affichage du variateur

Ces écrans affichages sont importants puisqu'ils sont lus par le client. Ce dernier va donc les transmettre aux techniciens de l'entreprise lorsqu'ils seront en contact. L'information sur l'écran d'affichage fait partie des « entrées » du future processus de diagnostic. Elle est importante car le client connaît mal la machine le plus souvent. Également, le client peut fournir certains symptômes sur l'état de la machine lors d'une panne. Ces symptômes² ont ainsi représentées dans le tableau 9.

| Symptômes (S) | Description de symptômes |
|---------------|---|
| S1 | Mise en puissance impossible, la machine est en Arrêt d'Urgence. |
| S2 | Arrêt de la machine en cours de production. |
| S4 | Le moment de la mise en puissance de la machine en automatique la tête d'orientation bouge vers le bas et la puissance tombe. |
| S13 | Température du moteur de l'axe X a changé (entre 80°C-100°C) |
| S19 | Bruit sur l'axe |

Tableau 9. Description des symptômes constatés par client sur la machine lors d'une panne

[Source : Notre recherche]

¹ Led « non-allumé » présente le bon fonctionnement de l'alimentation

² Parmi les symptômes présentés dans le tableau 9, le S1 et S2 sont plus fréquents, tandis que les S4, S13, S19 sont les symptômes constatés dans les cas particuliers.

Il existe un autre type d'informations : les symptômes présents sur le menu d'aide de la machine lors d'une panne. Ce sont les symptômes affichés sur l'écran de l'ordinateur lié à la machine qui concerne l'état de la machine au moment où arrive le problème.

Pour la machine F37, l'observation du client pour annoncer un problème passe par trois symptômes généraux « A », « B », « C » (voir annexe 4) :

- A : La puissance tombe en mode automatique. La machine est en Arrêt d'Urgence, et, arrêt de la machine en cours de production.
- B : La machine ne commence pas ou ne finit pas son cycle (elle reste en puissance).
- C : La machine demande une remise à zéro (elle reste en puissance).

Symptôme A correspond à « S1 » et « S2 » dans le tableau 9 présenté ci-avant. Pour chacun des informations citées A, B ou C, il existe une liste de symptômes donnée sur le menu d'aide de la machine¹. Dans notre cas, à propos du variateur, le client constate seulement le symptôme « A ». Cela signifie, par rapport à notre sujet, que les symptômes 17-23 dans le tableau 10 seront présents sur l'écran de l'ordinateur.

| Symptômes (S) | A : La puissance tombe en mode automatique. La machine est en Arrêt d'Urgence et arrêt de la machine en cours de production |
|---------------|---|
| S17 | Arrêt d'Urgence de la machine en cours de cycle avec le défaut « bit5lm628 » sur l'axe |
| S20 | Problème axes électriques: absence PUISSANCE OK alimentation variateur: (E1, 4=1). |
| S21 | Problème axes électriques: absence READY alimentation (E1, 5=1), voir alimentation et variateurs. |
| S22 | Problème communication avec les E/S (Bus CAN no:1) -> rebooter la machine. Statut bus 1: |
| S23 | Problème communication avec les axes (Bus CAN no: 0) -> rebooter la machine. Statut bus 0: |

Tableau 10. Liste des symptômes représentés sur le menu d'aide de la machine F37
[Source : Archive de l'entreprise]

5.4.2. Élaboration de l'ensemble des solutions apportées aux pannes

Après avoir intégré les connaissances tacites des experts, la documentation technique présente à l'entreprise, les symptômes décrits par le client, les écrans de surveillance de la machine elle-même, le menu d'aide de la machine affiché sur l'écran de l'ordinateur ; nous allons établir un lien entre ces éléments et les solutions à proposer au client par le technicien. Nous avons donc établi puis validé avec les experts² le tableau ci-après. Les colonnes correspondant à :

- Au terme générique utilisé par les techniciens pour nommer l'incident,

¹ Annexe 4

² L'expert est un technicien ou un ingénieur.

- L'origine de la panne, c'est-à-dire, le plus souvent, un lien entre le problème et un (ou des) composant(s),
- Des combinaisons de symptômes qui ont été constatés historiquement,
- Les solutions classiquement apportées.

Le tableau a été établi sur la base de fiches d'appel présentées dans l'entreprise exploitable (toutes les fiches : 285 fiches d'appels ont été étudiées pour le variateur). Le tableau 11 représente donc un ensemble de données précieux pour les techniciens. Les scénarios se présentant à eux sont recensés de manière exhaustive.

On dispose alors de l'ensemble des données qui vont nous permettre de formaliser le processus de diagnostic par confrontation client-technicien.

| Problèmes | L'origine de la panne | Symptômes (S) | Solutions (et/ou) |
|---------------------------------------|--|--|---|
| Rupture résolveur | <ul style="list-style-type: none"> - Panne de l'excitation résolveur - Rupture d'un ou plusieurs fils du câblage - Mauvais contacts (vérifier la connectique) | <p>S1, S2, S3, S4, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S3 \wedge S4 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Rupture Résolveur</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S3 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Rupture Résolveur</p> <p>$S1 \wedge S3 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Rupture Résolveur</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rétablir la connexion de la fiche résolveur entre moteur et variateur - Changer le variateur - Changer le moteur - Changer le câble de résolveur |
| Problème codeur | <ul style="list-style-type: none"> - Codeur non alimenté - Panne du codeur - Rupture d'un ou plusieurs fils de codeur - Inversion de certains fils lors du câblage - Mauvais contacts (vérifier la connectique) | <p>S1, S2, S5, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S5 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Défaut codeur</p> <p>$S1 \wedge S5 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Défaut codeur</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rétablir la connexion entre le codeur et le variateur - Changer le codeur |
| Température ambiante excessive | <ul style="list-style-type: none"> - vérifier la ventilation de l'armoire et le fonctionnement des ventilateurs | <p>S1, S2, S6, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S6 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Température ambiante excessive</p> <p>$S1 \wedge S6 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Température ambiante excessive</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Changer la ventilation - Nettoyer le radiateur du variateur - Vérifier et nettoyer le climatiseur - Réparer ou changer le climatiseur - Vérification de la propreté du filtre de l'armoire - Changer le filtre - Changer le variateur |

| Problèmes | L'origine de la panne | Symptômes (S) | Solutions (et/ou) |
|---|---|---|---|
| Vitesse moteur excessive (en tr/min) | <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier le branchement du résolveur - Mauvais réglage des paramètres : vérifier le programme, vérifier les paramètres comme accélération, erreur P, couple, couple réduit, butés mini maxi,... | <p>S1, S2, S4, S7, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S4 \wedge S7 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Vitesse moteur excessive (en tr/min)</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S7 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Vitesse moteur excessive (en tr/min)</p> <p>$S1 \wedge S7 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Vitesse moteur excessive (en tr/min)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rétablir la connexion entre le codeur et le variateur - Rétablir la connexion de la fiche résolveur entre le moteur et le variateur - Changer le codeur - Changer le variateur - Changer le moteur - Changer le câble de résolveur - Changer le programme ou les paramétrages |
| Courant alimentation excessif | <ul style="list-style-type: none"> - correspond en général à un problème interne au variateur - transistors puissance détériorés - commande de porte des transistors en dysfonctionnement | <p>S1, S2, S4, S8, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S4 \wedge S8 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Courant alimentation excessive</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S8 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Courant alimentation excessive</p> <p>$S1 \wedge S8 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Courant alimentation excessive</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Changer le variateur |
| Courant variateur excessif | <ul style="list-style-type: none"> - vérifier le raccordement du moteur au variateur - Vérifier l'adéquation entre le moteur programmé dans l'association et le moteur - Court-circuit entre une phase et le moteur - Court-circuit entre une phase et la terre - Inadéquation entre le moteur et le variateur - Vérifier le court-circuit dans la boîte à bornes | <p>S1, S2, S9, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S9 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ courant variateur excessif</p> <p>$S1 \wedge S9 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ courant variateur excessif</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rétablir la connectique puissance entre le moteur et le variateur - Changer le câble puissance - changer le moteur - Rétablir la connexion de la boîte à borne - Changer le variateur - Changer le moteur |
| Courant moyen excessif/ efficace | <ul style="list-style-type: none"> - généralement un point dur mécanique - cycle de fonctionnement trop important - phase moteur manquante - parfois incompatibilité du raccordement résolveur et moteur | <p>S1, S2, S4, S10, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S4 \wedge S10 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ courant moyen excessif</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S10 \Rightarrow$ courant moyen excessif</p> <p>$S1 \wedge S10 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ courant moyen excessif</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Changer alimentation - Manque de la phase sur l'alimentation : vérifier la présence des phases sur le réseau client (problème du réseau du client) - Résolution du problème mécanique - Changer le moteur - Rétablir la connexion entre fiche résolveur au niveau du moteur et du variateur - Changer le fusible - Changer le contacteur défectueux - Changez le relais du frein |

| Problèmes | L'origine de la panne | Symptômes (S) | Solutions (et/ou) |
|---|--|--|---|
| Surtension bus | <ul style="list-style-type: none"> - La récupération de l'énergie est excessive - La récupération de l'énergie de freinage est impossible - Déconnexion du réseau - Problème interne | <p>S1, S11, S20</p> <p>$S1 \wedge S11 \wedge S20 \Rightarrow$ surtension bus</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Changez le variateur |
| Température moteur excessive | <ul style="list-style-type: none"> - Problème sur moteur - Paramètres moteurs incorrects | <p>S1, S12, S13, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S12 \wedge S13 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ température moteur excessive</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Modification du rythme de production - Résolution de problème mécanique - Changer le moteur : la sonde température est cassée - Changer le variateur - Rétablir la connexion |
| Problème liaison CAN ou Profibus | <ul style="list-style-type: none"> - Câble débranché - Appareil éteint | <p>S1, S2, S14, S20, S21, S22, S23</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S14 \wedge S20 \wedge S21 \wedge S22 \wedge S23 \Rightarrow$ Défaut liaison CAN ou profibus</p> <p>$S1 \wedge S14 \wedge S20 \wedge S21 \wedge S22 \wedge S23 \Rightarrow$ Défaut liaison CAN ou profibus</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rétablir la connexion - Changer le variateur |
| Problème exécution programme | <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier le variateur | <p>S1, S15, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S15 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Défaut exécution programme</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Changer le variateur |
| Erreur de poursuite | <ul style="list-style-type: none"> - Mauvais réglage de paramètres: vérifier le programme, vérifier les paramètres comme accélération, erreur P, couple, couple réduit, butés mini maxi,... - Problème mécanique | <p>S1, S2, S16, S17, S19, S20, S21,</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S16 \wedge S17 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Erreur de poursuite</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S16 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Erreur de poursuite</p> <p>$S1 \wedge S2 \wedge S17 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Erreur de poursuite</p> <p>$S19 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Erreur de poursuite</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rétablir la connexion - Changer les galets d'ménage - Changez le contre galet - Changez le codeur - Résolution du problème mécanique - Changer le variateur - Changer le moteur - Changer le programme ou paramétrages - Changer le câble - Changer le fil |
| Affichage du variateur éteint. | <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier la présence de tension d'alimentation bas niveau - Vérifier le fusible interne | <p>S1, S18, S20, S21</p> <p>$S1 \wedge S18 \wedge S20 \wedge S21 \Rightarrow$ Affichage du variateur éteint</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Assurer de la présence des deux phases de l'alimentation bas niveau - Changer le fusible - Changer le variateur |
| Problème alimentation | <ul style="list-style-type: none"> - Vérifiez la présence des trois phases - Vérifiez le système refroidissement de l'armoire électrique - Vérifiez le tension du réseau client | <p>S1, S24, S25, S26, S27</p> <p>$S1 \wedge S24 \Rightarrow$ défaut alimentation</p> <p>$S1 \wedge S25 \Rightarrow$ défaut alimentation</p> <p>$S1 \wedge S25 \Rightarrow$ défaut alimentation</p> <p>$S1 \wedge S27 \Rightarrow$ défaut alimentation</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Changez l'alimentation |

| Problèmes | L'origine de la panne | Symptômes (S) | Solutions (et/ou) |
|------------------------|----------------------------------|---|---|
| Problème VAR/OK | - Vérifiez la connectique VAR/OK | $S1 \wedge S29 \Rightarrow$ Défaut VAR/OK | - Changez le variateur - Rétablir la connexion |

Tableau 11. Regroupent les données Problèmes, l'origine de pannes, Symptômes, Solutions
[Source : Notre recherche]

5.4.3. Mise en place d'une aide au diagnostic : les protocoles de décisions

Comme nous avons vu dans le chapitre quatre nous proposons de structurer l'aide au diagnostic par les protocoles de décisions. En effet, les sources pour construire ces protocoles de décisions ont été basées sur les nombreux entretiens réalisés avec les différents experts (les techniciens ainsi que les ingénieurs). Nous avons ainsi utilisé le tableau précédent, problème-cause de problème-symptômes- solutions, dans ces démarches. Il s'agissait de « reconstruire » des dialogues-type entre le technicien et le client. 15 protocoles ont été élaborés (un par problème clé) (voir annexe 5). Chaque protocole a été validé auprès du personnel de de l'entreprise. La figure 35 représente un de ces protocoles.

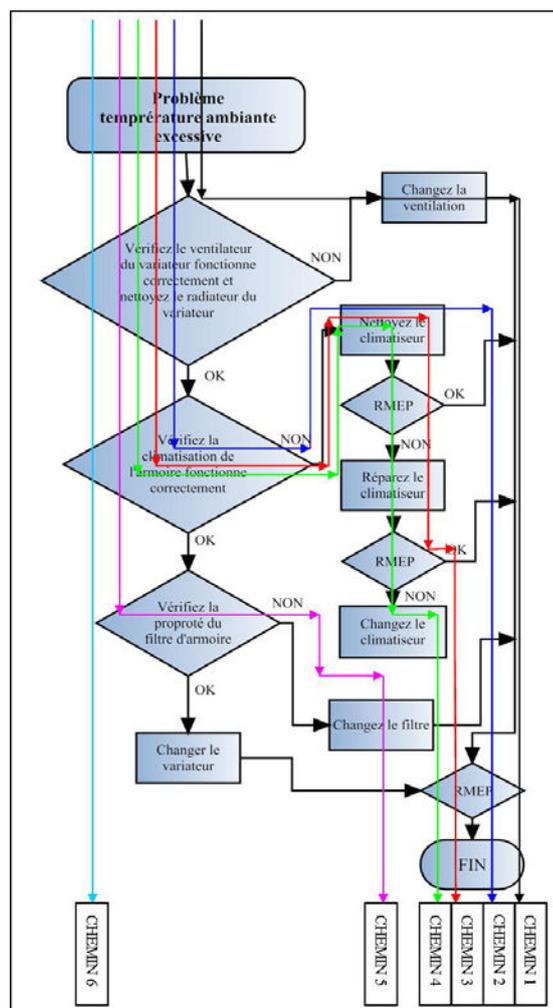


Figure 35. Protocole de décision des « problèmes vitesse moteur excessive »
[Source : Notre recherche]

Nous avons représenté par des traits différents les « chemins » proposés (tableau 12, ci-après). Ici, il y a, en effet, six scénarios possibles dans le dialogue client-technicien. A partir du point de départ unique (un des problèmes du tableau 11), et par le biais des questions, réponses, essais et testes, six solutions sont in fine envisageables pour revenir à une situation normal.

| |
|---|
| Problème : Température ambiante excessive (CHEMIN 1) |
| Technicien₁ : Vérifiez que le ventilateur du variateur fonctionne correctement et nettoyez le radiateur du variateur ? Client₁ : Non, la ventilation ne fonctionne pas |
| Technicien₂ : Changez la ventilation. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₂ : OK. La machine fonctionne. |
| Problème : Température ambiante excessive (CHEMIN 2) |
| Technicien₁ : Vérifiez que le ventilateur du variateur fonctionne correctement et nettoyez le radiateur du variateur ? Client₁ : Le ventilateur fonctionne bien. Le radiateur est nettoyé. |
| Technicien₂ : Vérifiez que la climatisation de l'armoire fonctionne correctement ? Client₂ : La climatisation ne fonctionne pas. |
| Technicien₃ : Nettoyez le climatiseur. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₃ : OK. La machine fonctionne. |
| Problème : Température ambiante excessive (CHEMIN 3) |
| Technicien₁ : Vérifiez que le ventilateur du variateur fonctionne correctement et nettoyez le radiateur du variateur ? Client₁ : Le ventilateur fonctionne bien. Le radiateur est nettoyé. |
| Technicien₂ : Vérifiez que la climatisation de l'armoire fonctionne correctement ? Client₂ : La climatisation ne fonctionne pas. |
| Technicien₃ : Nettoyez le climatiseur. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₃ : Non |
| Technicien₄ : Réparez le climatiseur. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₄ : OK, la machine marche. |
| Problème : Température ambiante excessive (CHEMIN 4) |
| Technicien₁ : Vérifiez que le ventilateur du variateur fonctionne correctement et nettoyez le radiateur du variateur ? Client₁ : Le ventilateur fonctionne bien. Le radiateur est nettoyé. |
| Technicien₂ : Vérifiez que la climatisation de l'armoire fonctionne correctement ? Client₂ : La climatisation ne fonctionne pas. |
| Technicien₃ : Nettoyez le climatiseur. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₃ : Non |
| Technicien₄ : Réparez le climatiseur. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₄ : Non. |
| Technicien₅ : Changez le climatiseur. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? Client₅ : OK. La machine fonctionne. |
| Problème : Température ambiante excessive (CHEMIN 5) |
| Technicien₁ : Vérifiez que le ventilateur du variateur fonctionne correctement et nettoyez le radiateur du variateur ? Client₁ : Le ventilateur fonctionne bien. Le radiateur est nettoyé. |
| Technicien₂ : Vérifiez que la climatisation de l'armoire fonctionne correctement ? Client₂ : OK. La climatisation est bonne. |
| Technicien₃ : Vérifiez la propreté du filtre d'armoire ? Client₃ : Le filtre n'est pas propre.. |
| Technicien₄ : Changez le filtre. Mettez la machine en puissance. Est-ce que le problème est résolu ? |

| |
|---|
| Client₄ : OK. La machine fonctionne. |
| Problème : Température ambiante excessive (CHEMIN 6) |
| Technicien₁ : Vérifiez que le ventilateur du variateur fonctionne correctement et nettoyez le radiateur du variateur ? Client₁ : Le ventilateur fonctionne bien. Le radiateur est nettoyé. |
| Technicien₂ : Vérifiez que la climatisation de l'armoire fonctionne correctement ? Client₂ : OK. La climatisation est bonne. |
| Technicien₃ : Vérifiez la propreté du filtre d'armoire Client₃ : OK. Le filtre est propre. |
| Technicien₄ : Changez le variateur et remettez la machine en puissance ¹ . Est-ce que le problème est résolu ? Client₄ : OK, la machine marche. |

Tableau 12. Les chemins de résolution du problème « Température ambiante excessive »

Au moment de la construction de ces chemins, nous nous sommes basés sur certains critères afin de créer des questions. Chaque conversation consiste en une question, une instruction ou la réalisation d'un test. Selon les études que nous avons effectuées, nous avons constaté qu'en principe il y a trois critères importants à considérer dans la prise de décision des techniciens dans la démarche de dépannage. Ces critères sont « *plausibilité* » (ex. il est plus plausible que la pièce A soit défectueuse par rapport à la pièce B), « *facilité de test* » (ex. vérification de la pièce A plus facile que la pièce B), « *action coûteuse* » (ex. Changer la pièce A est moins coûteux que changer la pièce B). En effet, cette entreprise ne construit aucune de ces pièces et achète donc toutes les pièces d'une machine à fabriquer chez différents fournisseurs. Pour cette raison, dans la démarche de dépannage, les techniciens ne réparent pas de pièces défectueuses, ils les remplacent seulement par de(s) nouvelle(s) pièce(s). C'est pour cela que ces derniers critères sont les seuls facteurs importants dans nos travaux.

L'action de dépannage est généralement réalisée par téléphone. D'une part, le SAV doit essayer de limiter ses déplacements pour dépanner un client. D'autre part, il est important de dépanner un maximum de clients dans un délai d'une semaine voire d'un jour. Ceci est une raison importante pour que le critère de *facilité de test* prenne plus du poids dans la démarche de dépannage. La facilité de test permet d'épargner du temps au technicien ainsi qu'au client. L'épargne de temps permet au technicien de réparer un plus grand nombre de machines dans la même journée. Pour les réparations moins compliquées, ce critère est efficace et résout souvent le problème. Cette rapidité d'intervention apporte également la satisfaction du client, autrement dit, une réparation dans un délai court avec le bon résultat. Le critère de *Plausibilité* s'applique plutôt aux techniciens plus expérimentés. Le critère d'*action coûteuse* intervient lorsque le changement de la pièce A coûte moins cher que le changement de la pièce B. Ce critère devient important notamment du point de vue du client, car il n'aime jamais payer trop cher ! Donc cette vision attire la confiance du client. Par conséquent, dans les nombreux entretiens effectués avec les techniciens du SAV, nous nous sommes rendu compte qu'ils classaient les critères par ordre d'importance suivant : « *facilité de test* », « *plausibilité* », et « *action coûteuse* ».

¹ Remettez la Machine En Puissance (RMEP)

Les critères ont été intégrés dans tous les chemins des protocoles de décision. Ils ont été considérés à chaque question-réponse, autrement dit, dans l'apparition des questions, à chaque étape, l'intégration de ces critères est prise en compte. A titre d'exemple, la vérification de la connexion d'un câble est réalisée avant le changement d'un moteur, car c'est plus facile et rapide. Ces critères ont déjà été intégrés dans l'ordre de leur importance, dans chaque question proposée par le système.

5.4.4. Propositions d'une architecture informatique

Nous proposons dans cette partie l'architecture d'un système informatique support au diagnostic. Nous allons tout d'abord aborder la différence entre un chemin et une carte dans le système. L'ontologie du système nous permettra de connaître l'ensemble des concepts et leurs relations dans le système de pliage. Nous allons ensuite définir les classes de problèmes dans le système, ce qui nous amène finalement à définir la hiérarchisation des informations dans la base de cas et la formalisation de la base de cas. Nous expliquons par la suite comment la remémoration et la définition des critères sont effectuées dans cette phase. Au terme de cette partie, nous décrivons l'intégration de ces critères dans le système. Nous avons développé le système sous HTML. En effet, l'entreprise souhaitait avoir un système simple, adaptable et facile d'accès pour une adaptation directe par les techniciens. Notre système constitue un prototype avant informatisation.

Nous avons constitué un corpus de données permettant formaliser les processus de diagnostic de panne de la machine F37. La phase de remémoration du RàPCC nécessite un support pour retrouver les expériences et des cas passés. Nous l'avons élaboré sous forme logiciel.

5.4.4.1. Ontologie du système de pliage selon la machine F37

Nous avons développé une ontologie de la machine F37 selon la figure 36. Dans cette ontologie, nous avons défini la description et l'état de fonctionnement de la machine, la décomposition de la machine, les problèmes rencontrés avec cette machine. La description et l'état de fonctionnement de la machine consiste en quatre états: marche-mode automatique, marche-mode réglage, marche avec dysfonctionnement, et panne. Dans la décomposition, nous avons défini différents modules correspondant aux sous-ensembles de la machine : dévidoir, armoire électrique, aménagement du fil, coupe, tournette, orientation, système de commande, filtre-régulateur-lubrificateur, et outillage. Finalement, nous avons défini tous les problèmes rencontrés dans cette machine. Les deux endroits encadrés et liés montrent le cadre de nos travaux, c'est-à-dire les problèmes traités sur un sous-composant.

La figure 36 avec la partie encadrée représente notre choix pour la création de la base de cas et la maquette que nous avons réalisée.

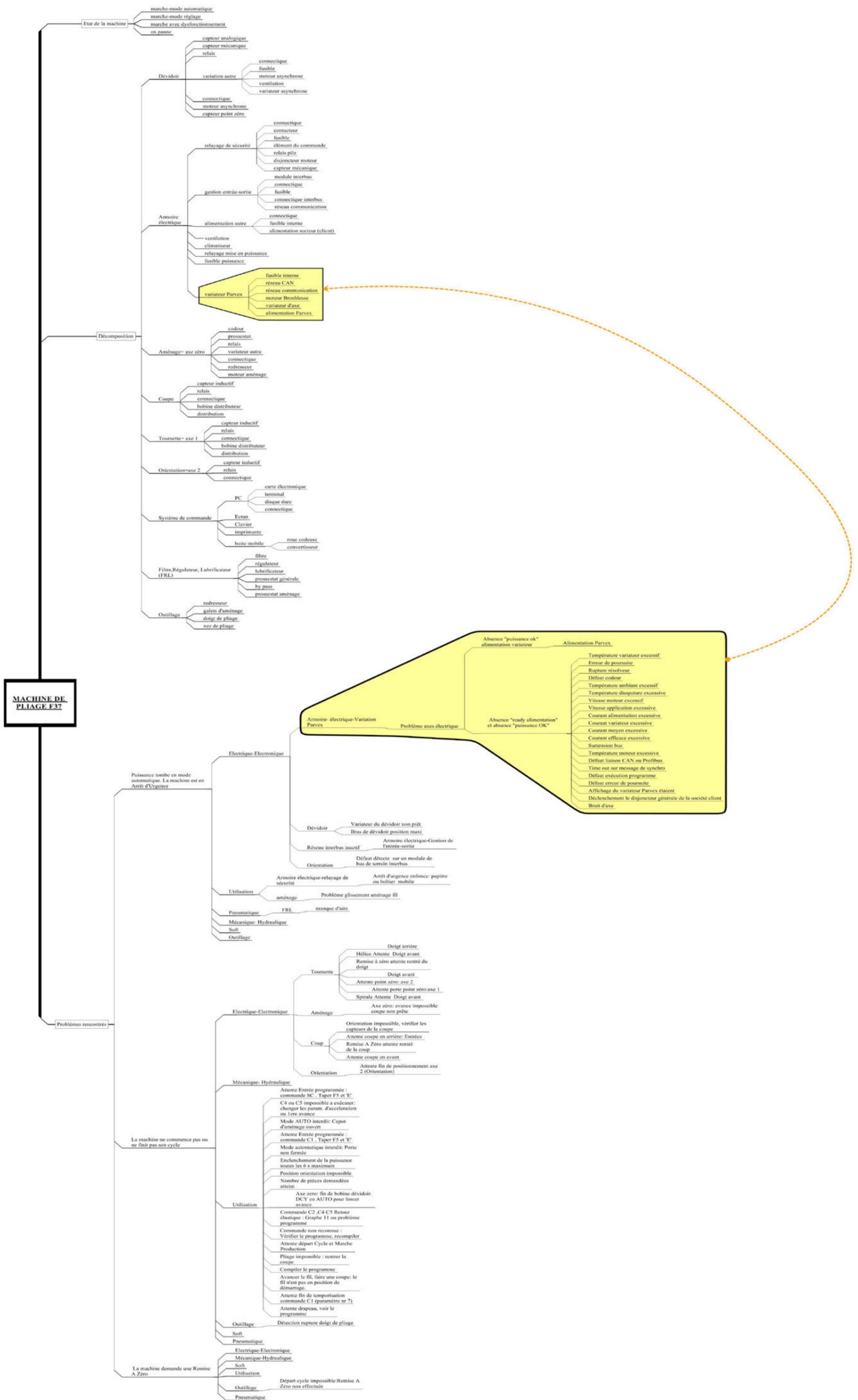


Figure 36. Ontologie du système pliage selon la machine F37 [Source : Notre recherche]

5.4.4.2. Proposition d'un mode de recherche des cas

Lorsqu'il dispose les symptômes, l'utilisateur doit premièrement définir la classe de problème à laquelle celui-ci appartient pour bien identifier le problème. Nous définissons une classe de problème comme un module ou un ensemble de composants de la machine qui possède des problèmes et des pannes similaires. En première approche, il paraît logique de définir les classes des problèmes comme : électrique-électronique, mécanique-hydraulique, soft, utilisation, outillage, et pneumatique. Cette façon de classer paraît logique mais dans la réalité elle n'est pas adaptée à la recherche d'un cas cible selon les techniciens interviewers. Nous avons donc décidé de proposer un autre type de classification basées sur les différents modules d'une machine. Cette classification nous permet de trouver le lien entre les symptômes avec sa classe (son composant ou module). Ce qui est important selon les techniciens, c'est de résoudre le problème avec une démarche plus logique et informative. Ainsi, notre mode de recherche des cas cible insiste sur les liens entre les pannes constatées dans la machine et le problème défini par le système.

5.4.4.3. Hiérarchisation des informations dans la base de cas

Suite à notre explication dans le paragraphe précédent pour la recherche des cas cible à partir des symptômes ; la figure 37 montre la hiérarchisation des informations de la base de cas de gauche à droite pour un système de pliage¹. Afin de réaliser une hiérarchisation des informations, nous avons d'abord effectué une classification de problème-composant. La partie encadrée dans la figure 37 représente la cadre de nos études réalisées.

Le premier niveau de cette hiérarchie consigne les symptômes généraux constatés par le client. Le deuxième niveau est la localisation du problème qui va être détecté suite aux informations fournies par le client à partir de la page d'aide de sa machine. Le troisième niveau consiste à localiser le problème sur le système pliage, c'est-à-dire déterminer la classe du problème². Dans cette partie, le système détecte un module (une classe) où une ou plusieurs pièces de cet ensemble pourront être défectueuses. Le quatrième niveau est l'identification et définition de problème suite à des symptômes. Le cinquième niveau est constitué par la démarche de résolution de problème en mettant à la disposition du technicien toutes les cartes similaires existant dans le système.

¹ La partie d'encadré de la figure 37 consiste nos travaux. La présentation de l'hiérarchisation des informations pour toute la machine F37 est dans l'annexe 6

² Dans la figure 37, pour une meilleure compréhension de la représentation graphique, nous avons changé la place du niveau 2 et du niveau 3. Le niveau 2 présente les symptômes sur la machine. Le niveau 3 représente les modules liés à ces symptômes

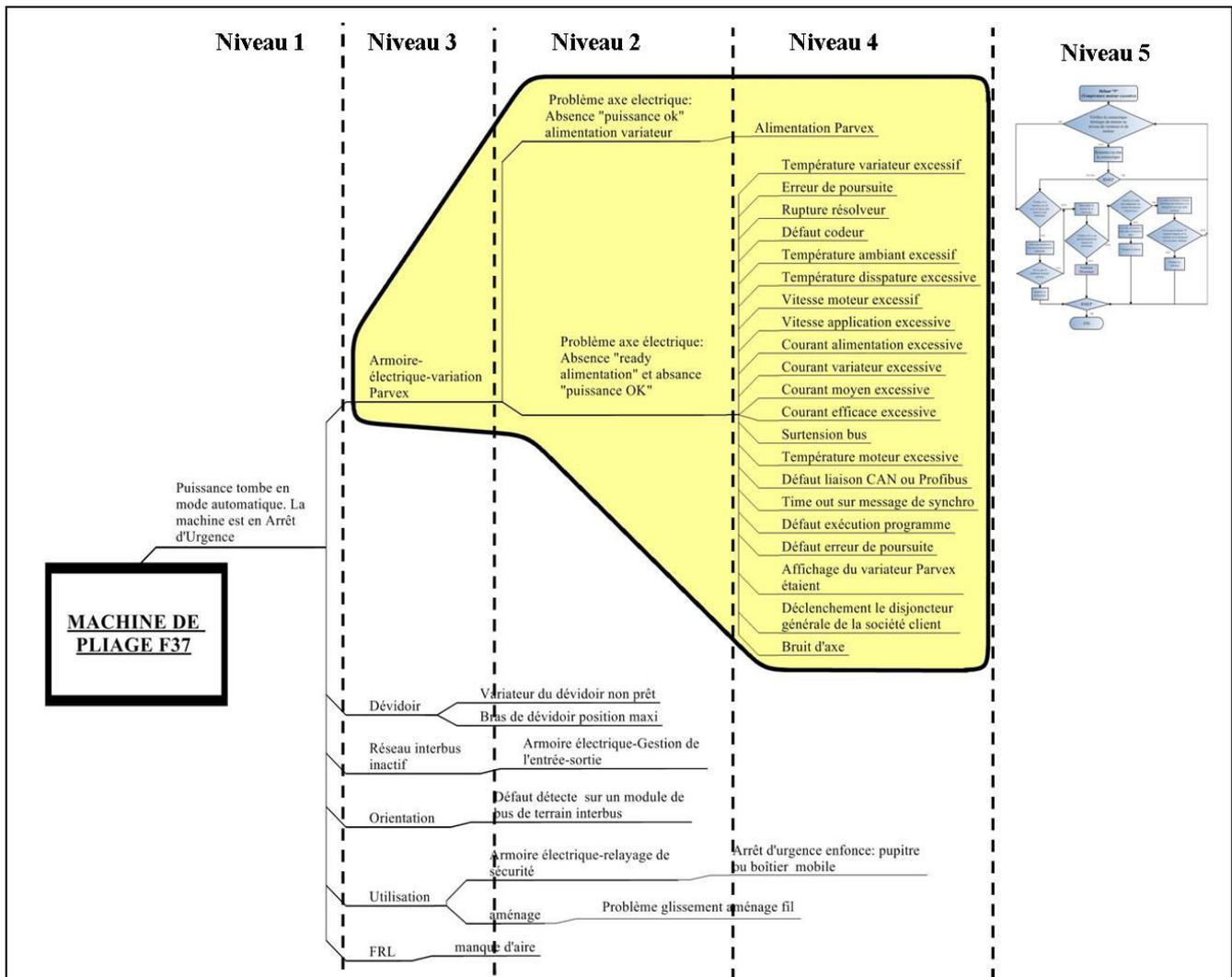


Figure 37. Hiérarchisation des informations dans la base de cas [Source : Notre recherche]

5.4.4.4. Remémoration

Nous formulons l'hypothèse que les symptômes des problèmes ainsi que l'ensemble des solutions proposées (c'est-à-dire ; les composants rechangés) que nous avons identifiés dans le (5.4.2.) constituent les descripteurs des problèmes. Avec ces descripteurs, nous pouvons trouver des cas source similaires à notre problème cible. Dans la phase de remémoration, il faut trouver des cartes plus proches et plus adaptées au problème cible. Une ou des carte(s) proches sont des cartes qui ont besoin de moins d'effort d'adaptation pour un technicien lors de la résolution d'un problème. L'application de ces démarches sera expliquée dans le (5.4.5.)

5.4.4.5. Formalisation de la base de cas

Le système porte sur l'ensemble des questions-réponses proposées à chaque étape à l'utilisateur (technicien) afin de préciser le problème. La base de cas est établie à partir des différentes connaissances. Elle est construite à partir de toutes les étapes que nous avons expliquées dans les paragraphes précédents.

Une carte commence à se construire dès la première question. Lorsque la classe de problème est choisie par des questions que le technicien pose au client en utilisant le système, le problème cible commence à se définir et se préciser. À partir de cette étape, il existe un ou plusieurs chemins de résolution pour ce problème. Chaque question-réponse précise le problème et donc diminue le nombre de chemins existants. Au point de vue de la représentation des connaissances, le nombre d'informations sur une situation augmente, donc l'ensemble des situations précédentes qui correspond à cette nouvelle situation diminue. Avec chaque précision que nous ajoutons sur une panne (des tests, des résultats, ...) on réduit l'ensemble des instances d'un problème c'est-à-dire, que l'on diminue l'espace des pannes possible.

5.4.5. La maquette « GOSHAYESH »

Nous présenterons dans cette partie le système proposé sous forme d'une maquette que nous avons fournie à l'entreprise. La maquette s'appelle « GOSHAYESH¹ », c'est un système d'aide à la décision pour diagnostiquer le problème et proposer la solution. Ce système met en interaction le technicien (utilisateur du système) et le client au cours de la résolution de problème afin de poser des questions pertinentes. Le système commence par le problème général, c'est à dire le technicien pose au départ des questions plus générales au client à partir du système, puis, au fur et à mesure, avec les informations fournies par le client, le problème commence à se préciser jusqu'au moment où le technicien propose la solution finale. Nous présentons dans la suite un seul exemple de résolution d'un cas cible qui aboutit à la création d'une carte dans le système. La figure 38 représente la première page lors du démarrage du système.



Figure 38. La page de démarrage du système « GOSHAYESH »

¹ « GOSHAYESH » est un mot en langue Persan. Une de ces significations est l' « ouverture ».

Dans la première étape, à la question une (figure 39), le système demande quel est le problème constaté par le client. Généralement, sur une machine F37, il y a trois symptômes qu'un client peut donner comme des informations utiles au technicien. Le client peut donner d'autres informations qui sont générales pour toutes les pannes et n'aide pas forcément le technicien à détecter le problème. Dès que le technicien commence à utiliser le système, une nouvelle « carte de résolution de problème » est créée en même temps et apparaît du côté droit de la page. La carte au départ est provisoire, car elle est en train de se construire. Elle apparaît donc en pointillé pour montrer que sa construction n'est pas encore complète. Le chemin suivi par le technicien est enregistré et montré en haut de la page (ici sous forme d'un rectangle bleu) après chaque question afin d'informer le technicien des démarches qu'il suit.

La question deux (figure 39) est constituée de tous les défauts (symptômes) de la machine qui vont apparaître suite à la réponse à la question une. Ces symptômes sont intégrés dans notre système et sont ainsi initialement enregistrés sur la page d'aide de la machine. Le client doit communiquer au technicien le symptôme annoncé sur la machine. Le technicien, de son côté, choisit ce symptôme sur son système une fois détectés.

The screenshot shows the 'SYSTEME GOSHAYESH' interface. At the top, there is a black header with the text 'SYSTEME GOSHAYESH' in white. Below the header, there are two main sections for questions. The first section, titled 'Puissance tombe', contains question 1: '1. Quel est le problème initial constaté sur la machine?'. It has three radio button options: 'La puissance tombe en mode automatique. La machine est en Arrêt d'Urgence (AU)', 'La machine ne commence pas ou ne finit pas son cycle (elle reste en puissance)', and 'La machine demande une remise à zéro (elle reste en puissance)'. To the right of this section is a dashed box labeled 'Nouvelle carte'. The second section, titled 'Puissance tombe' and 'Symtôme de la machine', contains question 2: '2. Quel est le problème indiqué sur le menu de l'aide de la machine?'. It features a dropdown menu with the following options: 'Défauts (symptômes):', 'Problème axes électrique: "absence READY alimentation"', 'Problème axes électrique: "absence PUISSANCE OK" alimentation variateur', 'Réseau interbus inactif', 'Problème glissement aménage fil', and 'Bras dévidoir est en position maximum'. To the right of this section is another dashed box labeled 'Nouvelle carte'.

Figure39. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Questions 1 et 2)

Dans la question trois (figure 40), le système donnera la localisation du problème sur la machine. Autrement dit, il précise quel module de la machine est défectueux. Une fois que le module est identifié, le problème cible devient bien défini. Il faut donc savoir quel sous composant de la machine est défectueux. Dans cette étape, sur le côté droit de la page, nous voyons apparaître une nouvelle boîte qui représente les pièces défectueuses dans le problème cible. Cette boîte donne également accès à des cartes similaires précédentes. Le technicien a accès aux cartes similaires résolues précédemment en cliquant sur chaque bouton ; ce qui lui permettra de s'en inspirer, s'il a besoin, pour résoudre le cas cible en cours. A partir de cette

étape, après chaque question-réponse, un espace « commentaires » est prévu pour que le technicien enregistre, si nécessaire, les informations complémentaires par rapport à la situation rencontrée. Lorsqu'un commentaire est ajouté, il doit être validé pour être sauvegardé dans le système. Dans cet exemple, le problème cible est « température ambiante excessive¹ ». Dans ce problème, le système annonce qu'il peut y avoir quatre pièces défectueuses : climatiseur, ventilation, variateur et filtre. Nous avons toujours la nouvelle carte « provisoire » qui garde les démarches avec toutes les informations.

The screenshot shows the 'SYSTEME GOSHAYESH' interface. At the top, there are three buttons: 'Puissance tombe', 'Symtôme de la machine', and 'Température ambiante excessive'. Below these, a question asks: '3. Quel est le défaut qui apparaît sur l'affichage du variateur?'. A dropdown menu labeled 'Problèmes:' contains the following options: 'défaut 3' (highlighted), 'défaut 2', 'défaut 4', 'défaut 6', and 'défaut P'. Below the dropdown is a text area for 'Commentaires:'. At the bottom of the main form are 'Valider' and 'Annuler' buttons. To the right, a box titled 'Accès aux cartes des pièces défectueuses...' contains buttons for 'Climatiseur', 'Ventilation', 'Variateur', and 'Filtre', along with a 'Nouvelle carte' button.

Figure 40. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 3)

Dans la question quatre (figure 41), le système propose la démarche de la résolution pour le problème cible. De la figure 41 au 45, le problème précise au fur et à mesure en posant des questions jusqu'à proposition une solution. Nous pouvons avoir plusieurs chemins pour résoudre un problème. Avec chaque question-réponse, on élimine les chemins jusqu'à en avoir un seul. Dans cet exemple, le technicien demande au client de « vérifier si le ventilateur du variateur fonctionne correctement ainsi il lui demande de nettoyer le radiateur du variateur ». Le client fait ses demandes et annonce que le ventilateur fonctionne correctement. Nous pouvons voir que, dans la boîte à droite, l'option du ventilateur n'est pas défectueuse donc elle est supprimée (ainsi que ses accès aux cartes).

La question cinq (figure 42) est toujours dans le but de préciser le problème. Lorsque le technicien demande « vérifiez que la climatisation de l'armoire électrique fonctionne correctement », le client répond après son contrôle et annonce que le climatiseur n'est pas dans un bon état. Le technicien lui propose de nettoyer le climatiseur.

¹ Dans le paragraphe 5.4.3., nous avons montré qu'il y avait six chemins au départ pour ce problème.

SYSTEME GOSHAYESH

Puissance tombe

Symtôme de la machine

Température ambiante excessive

Ventilateur

4. Vérifiez le ventilateur du variateur finctionne correctement ainsi nettoyez le radiateur du variateur:

La ventilateur fonctionne correctement. le radiateur est nettoyé.
 Le ventilateur ne fonctionne pas. changez le ventilateur.

Commentaires:

Valider

Annuler

Accès aux cartes des pièces défectueuses...

Climatiseur

Variateur

Filtre

Nouvelle carte

Figure 41. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 4)

À cette étape, le problème est ciblé sur le climatiseur. Autrement dit, un seul chemin est retenu (problème climatiseur). Le technicien doit aller encore plus loin pour résoudre ce problème. En répondant à cette question, nous constatons que dans la boîte de droite le « variateur » et le « filtre » sont supprimés de la page. En même temps, il a accès à la carte du climatiseur dans la base de cas dont il pourra s'inspirer. Les rectangles en bleu en haut de la page montre aussi au technicien le chemin qu'il à suivi dès le début.

SYSTEME GOSHAYESH

Puissance tombe

Symtôme de la machine

Température ambiante excessive

Ventilateur

Climatisation

5. Vérifiez la climatisation de l'armoire finctionne correctement:

Oui, elle fonctionne correctement.
 Elle n'est pas bonne. Nettoyez la climatisation.

Commentaires:

Valider

Annuler

Accès aux cartes des pièces défectueuses...

Climatiseur

Nouvelle carte

Figure 42. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 5)

Une fois que le client a nettoyé le climatiseur, le technicien lui demandera dans la question six (figure 43) d'allumer la machine et de la remettre en puissance et de vérifier si le problème a disparu. Le client annonce que le problème persiste toujours. Cette fois-ci le technicien lui proposera de réparer le climatiseur.

SYSTEME GOSHAYESH

Puissance tombe Symtôme de la machine Température ambiante excessive Ventilateur Climatisation

6. Remettez la machine en puissance. Est-ce que la machine fonctionne correctement?

Oui, elle fonctionne.

Elle n'est pas bonne. Réparez la climatisation.

Commentaires:

Valider Annuler

Accès aux cartes des pièces défectueuses...

Climatiseur

Nouvelle carte

Figure 43. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 6)

Dans la question sept (figure 44), le technicien demande de remettre la machine en puissance et de voir si le problème est résolu et si la machine fonctionne normalement. Le client l'avertit si le problème persiste. Dans cette situation, la dernière proposition du technicien sera le changement du climatiseur.

SYSTEME GOSHAYESH

Puissance tombe Symtôme de la machine Température ambiante excessive Ventilateur Climatisation

7. Remettez la machine en puissance. Est-ce que la machine fonctionne correctement?

Oui, elle fonctionne.

Elle n'est pas bonne. Changez la climatisation.

Commentaires:

Valider Annuler

Accès aux cartes des pièces défectueuses...

Climatiseur

Nouvelle carte

Figure 44. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 7)

SYSTEME GOSHAYESH

Puissance tombe

Symtôme de la machine

Température ambiante excessive

Ventilateur

Climatisation

8. Remettez la machine en puissance. Est-ce que la machine fonctionne correctement?

Oui, elle fonctionne. Enregistrez la carte

Elle n'est pas bonne. Rassurez vous de n'oublier aucune étape!

Commentaires:

Valider

Annuler

Accès aux cartes des pièces défectueuses...

Nouvelle carte

Figure 45. Un chemin : les étapes de la résolution d'un problème par le système GOSHAYESH (Question 8)

Carte de Résolution de Problème- RECAPITULATIF

1. Quel est le problème initial constaté sur la machine?
La puissance tombe en mode automatique. La machine est en Arrêt d'Urgence (AU)

2. Quel est le problème indiqué sur la page de l'aide de la machine?
Problème axes électrique: "absence READY alimentation"

3. Quel est le défaut qui apparaît sur l'affichage du variateur?
défaut 3

Commentaires:

Température ambiante exéssive

La ventilateur fonctionne correctement. le Variateur est nettoyé.

Commentaires:

une explicuatoion ajouté par technicien si nécessaire.

5. Vérifiez la climatisation de l'armoire fncionne correctement:
Elle n'est pas bonne. Nettoyez la climatisation.

Commentaires:

une explicuatoion ajouté par technicien si nécessaire.

6. Remettez la machine en puissance. Est-ce que la machine fonctionne correctement?
Elle n'est pas bonne. Reparez la climatisation.

Commentaires:

une explicuatoion ajouté par technicien si nécessaire.

7. Remettez la machine en puissance. Est-ce que la machine fonctionne correctement?
Elle n'est pas bonne. Changez la climatisation.

Commentaires:

une explicuatoion ajouté par technicien si nécessaire.

8. Remettez la machine en puissance. Est-ce que la machine fonctionne correctement?
Oui, elle fonctionne. Enregistrez la fiche

Enregistrer

Modifier

Figure 46. La « carte de résolution de problème » : récapitulatif

La question huit (figure 45), est la demande de la mise en route de la machine. Cette fois, le client informe que la machine fonctionne correctement et que son problème est donc résolu.

Le technicien doit stocker dans la base de cas la carte qu'il a remplie dès le début en utilisant le chemin. Lorsque le problème est résolu le système propose une carte « récapitulatif » pour que le technicien la vérifie avant d'enregistrer (figure 46). Une fois la carte enregistrée, elle passe de l'état provisoire à l'état réel (elle est représentée en trait continu et plus foncé dans la figure 45). Cette carte stock dans la base de cas parmi les problèmes climatiser. Elle pourra être réutilisée ultérieurement dans un cas similaire.

5.5. Discussion : analyse de l'expérimentation

Nous avons travaillé avec les techniciens et les ingénieurs. Parmi les techniciens seuls les plus expérimentés, on a pu suivre l'ensemble de la démarche de construction du système ; les moins expérimentés manquaient de références pour construire et valider :

- La liste des thèmes (domaines techniques des pannes)
- Les liens symptômes/ pannes
- L'historique des questions – réponse (protocole de décision)

Ceci constitue empiriquement une limite à notre méthode. On peut s'interroger sur le fait qu'il s'agisse une limite au RàPCC en générale.

La place du client dans la conversation conduisant au diagnostic est essentielle. Nous nous sommes basés sur les entretiens avec les techniciens pour créer les protocoles de décisions et le système informatique. Il s'agit là d'une limite de notre expérimentation. Peut-être qu'une phase d'étude chez des clients aura enrichi notre approche.

Nous avons listé quinze protocoles de décisions. Chacun mettant en avant plusieurs chemins. Ces chemins ne relèvent pas de la simple logique. Ils traduisent aussi une connaissance tacite : « facilité de test », « plausibilité » et « action couteuse ». Nous avons donc montré expérimentalement que l'intégration des connaissances tacites des techniciens de l'entreprise se fait dans la phase une de notre méthode (description des événements de panne), mais aussi dans l'agencement de phases de diagnostic.

On peut considérer que nos résultats sont efficaces et donc pertinents, car, l'ensemble des protocoles de décisions ont été validés par les techniciens et les ingénieurs. Une validation client aurait peut-être intéressante.

On constate que cette étude met en évidence des problèmes de qualité des pièces en provenance des fournisseurs. Ainsi, notre système s'avère être une aide au diagnostic de panne, mais, il peut jouer un rôle dans le diagnostic et l'évolution des fournisseurs.

5.6. Conclusion du chapitre

Ce chapitre a été consacré au développement des démarches de retours d'expériences et à la proposition d'un système d'aide au diagnostic et à la réparation dans le service-après-vente d'une entreprise. Nous avons utilisé les démarches abordées dans le chapitre quatre afin de développer notre proposition. Nous avons d'abord réalisé une analyse de l'existant dans l'entreprise afin de faire connaître les besoins à considérer pour notre proposition. Pour cela, nous avons effectué une étude statistique sur toutes les pannes rencontrées au huit dernière années (du 1999 au 2007). Nous avons choisi le module le plus défectueux d'une machine précise, la F37, et nous avons étudié les pannes concernant cette machine. Nos travaux pourront également s'appliquer aux autres modèles de machines possédant le module en question.

Nous avons créé des protocoles de décision en utilisant la méthode des arbres de défaillances dans nos démarches de retours d'expérience des experts afin de formaliser le mode de diagnostic d'une panne technique. La construction de ces protocoles de décisions se basent sur les nombreux entretiens individuels et collectifs réalisés avec des techniciens et des ingénieurs, les observations sur place, ainsi que les documents techniques et rarement les anciennes fiche d'appel. Les protocoles de décisions sont constitués d'un ensemble de chemins pour un problème précis. Chacun de ces chemins consiste en une démarche pour résoudre un sous-problème. Chaque chemin a été créé par une série de questions-réponses qui permet de préciser le problème. Les critères de construction des chemins et leur pondération ont été choisis en fonction de leur importance pour les techniciens lors de la résolution de problème. Ces critères ont été intégrés lors de la construction des protocoles de décision.

Nous avons également précisé la différence entre un chemin dans les protocoles de décisions et une carte (un cas). Chaque chemin aboutit finalement à la construction d'une carte (un cas) lors de la proposition de la maquette. Cette carte est enregistrée dans la base de cas pour une réutilisation ultérieure.

Afin de se rapprocher d'un système de RàPCC, nous avons effectué un ensemble de démarches pour réaliser un système interactif. Nous avons identifié des symptômes rencontrés par les clients lors d'une panne et également les symptômes présents sur l'écran affichage, les symptômes annoncés par la machine également les symptômes pour chacun des problèmes afin de mieux trouver la panne. Ces trois familles de symptômes sont en effet les descripteurs du problème nous permettant de trouver des cas source similaires. Nous avons créé une ontologie du système de pliage, pour montrer les relations entre les différents concepts définis dans un système de pliage en se basant sur la machine F37. Ensuite, nous avons défini les classes de problèmes. Ces classes sont les modules d'une machine qui possèdent des problèmes communs entre eux. Nous avons proposé une nouvelle classification de problèmes

basés sur les différents modules d'une machine avec une hiérarchisation des informations réalisée en cinq niveaux.

Dans un système de RàPCC en général, la recherche des cas source similaires pourra être limitée (lorsque le problème cible est bien identifié) et donc il pourra proposer des cartes similaires (cas source similaire) selon les descripteurs. Dans notre cas, le quatrième niveau de hiérarchisation des informations est la description du problème. L'avantage de nos travaux est l'amélioration de la précision dans cette phase. Autrement dit, nous n'avons pas limité les recherches des cas à ce stade. En effet, dans nos travaux, nous avons réalisé une étude plus précise en allant plus loin pour trouver les cartes similaires. C'est-à-dire, qu'une fois le problème identifié (au 4^{ème} niveau de l'hiérarchisation des informations), notre proposition de maquette « GOSHAYESH » aide le technicien à voir des sous-problèmes et donc une remémoration plus fine et précise des cartes. Nous nous sommes basé sur la remémoration guidée par adaptation qui a été présentée dans la maquette informatique que nous avons proposée à l'entreprise.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les travaux de recherches présentés dans ce mémoire ont porté sur les démarches de retour d'expérience dans le domaine du diagnostic (service après-vente) orienté sur le raisonnement à partir de cas conversationnel.

Nous avons d'abord expliqué les difficultés rencontrées de plus en plus dans les entreprises. Parmi ces difficultés, nous pouvons citer d'une part: les départs massifs en retraite des experts, les mutations des experts plus expérimentés, le licenciement des acteurs face à la crise économique mondiale,... Nous pouvons également citer l'évolution technologique rapide des produits et l'innovation incrémentale sur les nouveaux produits. Face à la concurrence technologique, les entreprises ont donc besoin d'améliorer de plus en plus leurs services pour gagner des parts de marché ainsi que pour réduire leur temps de réponse aux demandes des clients.

Le processus du retour d'expérience représente une potentialité pour résoudre ces derniers problèmes. Le raisonnement à partir de cas, fondée sur la réutilisation ou la modification des expériences passées est un paradigme puissant et une approche fréquemment utilisée dans le raisonnement humain pour la résolution de problèmes. De ce fait, conserver les expériences antérieures dans une base de cas et les réutiliser permet de porter un regard sur l'intégration de cette méthodologie (RàPCC) dans le retour d'expérience. Nous avons pu prouver que l'utilisation du RàPCC en vue de réaliser le retour d'expérience répond aux besoins scientifique et industriel. Ces travaux sont originaux pour l'utilisation de RàPCC pour le RETEX.

Nous avons également étudié les éléments génériques de raisonnement à partir de cas. Dans la première étape, nous avons expliqué ses origines et son historique et présenté les travaux développés sur le RàPC. Nous avons étudié ses principes et montré que le RàPC peut agir comme un catalyseur dans le processus de l'innovation. Autrement dit, grâce au RàPC, nous pouvons avancer dans les propositions de solutions techniques. Nous avons, de plus, précisé notre recherche en utilisant le raisonnement à partir de cas conversationnel dans le cadre du diagnostic et de la résolution de panne et réalisé une étude comparative entre différents systèmes utilisés dans ce domaine.

Nous avons proposé une méthodologie de démarches de retour d'expérience articulées autour du raisonnement à partir de cas conversationnel. Cette méthodologie consiste à proposer une démarche élaborée en quatre phases qui nous a permis de capitaliser les expériences.

- Nous avons réalisé un état de l'art analytique dans l'entreprise afin de positionner les travaux. Cette étape prend en compte des études sur les différents types de machines fabriquées dans l'entreprise ainsi que les pannes correspondantes du point de vue tacite et explicite.

- Nous avons ensuite créé des liens entre chaque panne et les symptômes liés pour définir la panne et sa résolution. Cette élaboration nous permet d'avoir une vision générale des pannes.
- Nous avons proposé une méthode de diagnostic des pannes à partir des conversations entre client et expert, sous la forme des protocoles de décisions. Nous avons créé les chemins qui se traduisent par des séries de questions-réponses (des conversations) en créant des protocoles de décision.
- Finalement, nous avons proposé le principe de notre système informatique à partir des cartes de résolution de problèmes. Ensuite, dans la construction de la maquette informatique, nous nous sommes appuyés sur l'idée de dialogue *mixed-initiative* dans la proposition du système (la maquette). Autrement dit, nous avons considéré la nécessité de sauvegarder les points de vue de l'expert pendant la résolution de problème, afin de réutiliser les idées et les opinions lors de la résolution de cas similaires ultérieurs.

Si on considère le cycle de RàPC, nous nous positionnons, sur la phase de l'élaboration et de la remémoration. Ces deux phases ont été considérées comme des étapes clé dans le lien entre les RETEX et le RàPCC car ce sont les étapes où le problème se définit et que le rapprochement entre des cas source (expérience passée) et une situation nouvelle (le cas cible) se produit. Plus précisément, nous avons proposé une formalisation et une représentation d'un cas conversationnel dans un système de diagnostic industriel. Lors de l'élaboration, un nouveau cas est créé et la description du problème est ensuite complétée en collectant des informations pertinentes pour le problème à résoudre.

Dans le cas du diagnostic, nous avons déterminé l'ensemble des symptômes afin d'identifier le problème à résoudre. Pour la préparation d'un cas dans la phase d'élaboration, il faut également choisir les descripteurs adéquats pour la recherche des cas. Ces descripteurs du cas sont considérés comme pertinents lorsqu'ils sont utilisés comme critères de recherche dans la base de cas. Pour modéliser les cas, nous utilisons les principes des protocoles de décision. Notre contribution est donc la reformulation du retour d'expérience à partir de mode de raisonnement et de conversations expert-client, mais aussi une proposition de mise en forme à l'aide des protocoles de décisions. Chaque protocole de décision présente un problème. Nous proposons donc plusieurs chemins (dans les conversations interactives) pour résoudre ce problème

Nous avons proposé une méthode de création de maquette informatique pour le futur système du diagnostic. Nous l'avons nommée : « GOSHAYESH », Cette maquette est construite à partir des cartes de résolution de problèmes dans la base de cas. De ce fait, nous avons établi une remémoration guidée par adaptation afin d'utiliser les cartes similaires dans une nouvelle situation de panne. La maquette informatique nous permet de réaliser cette

phase. Nous avons donc proposé dans l'algorithme de stocker la nouvelle carte en indexant la solution du problème issu de la dernière conversation (réparation ou changement d'une pièce). Rappelons que le rôle de l'indexation est de rendre la remémoration plus efficace en s'appuyant sur les descripteurs du problème ayant une importance particulière car jouant un rôle dans la résolution de problème. L'indexation est utilisée en phase de remémoration pour localiser plus rapidement une classe à laquelle un problème cible sera attaché. Nous avons classé les cartes de résolution de problème dans la maquette informatique proposée par des composants défectueux de la machine et donc stocké les cartes selon ces composants. Notons que les utilisateurs du système pourront sauvegarder leurs propres avis après chaque conversation dans la démarche de création d'une carte.

Nous avons réalisé un système très interactif : la remémoration est semi-automatique, l'adaptation est entièrement faite par les opérateurs. La partie automatique de la remémoration a pour objectif, partant de l'ensemble de toutes les cartes, de préciser à chaque interaction avec le client le sous-ensemble de carte SAV qui sont susceptibles de correspondre à la définition courante du problème de panne. Le technicien peut alors s'inspirer (ou non) de ces cartes pour poursuivre l'interaction avec le client. La carte la plus proche est celle qui a besoin de moins d'*effort d'adaptation*. Autrement dit, une carte qui aide plus le technicien dans un minimum du temps pour proposer une solution pour le problème en cours. Bien que l'adaptation soit « manuelle », son étude est utile pour le choix du langage de représentation des problèmes qui permet une remémoration guidée par l'adaptation.

Dans la maquette que nous proposons, nous avons également considéré les points suivants :

- Nous avons évité de demander la description textuelle du problème lors de la présentation du problème ; nous commençons dès la première étape du diagnostic par poser des questions ou donner une instruction afin de préciser le problème.
- Notre proposition permet à l'expert de considérer son opinion au cours de la résolution du problème. D'une part, on lui donne la possibilité de choisir des questions et d'autre part, une fois le problème précisé, une sauvegarde de ses propres avis lui est proposée dans les cartes de résolution de problèmes.

La confrontation avec un terrain d'application dans une entreprise industrielle illustre parfaitement la portée de nos travaux. Les extractions des connaissances tacites et explicites à travers de nombreux entretiens individuels et collectifs nous ont permis de nous confronter au problème du retour d'expérience selon la réalité d'une entreprise. Nous avons pu modifier la classification des problèmes de l'entreprise et proposer une nouvelle classification basée sur les problèmes récurrents liés à chacun des composants. Nous avons également pu formaliser les connaissances tacites des techniciens afin de leur proposer une nouvelle démarche de résolution de problèmes à travers des protocoles de décision et leur formalisation par le biais

de notre maquette informatique. Dans cette étude, tous les problèmes liés au « variateur » (avec ses composants associés) ont été résolus. Parmi les avantages que nous souhaitons valoriser, nous précisons que cette étude est menée sur la dernière génération de variateurs et, de ce fait, est valable pour les variateurs d'autres machines dans l'entreprise qui possède la même génération technologique.

Cette étude a aussi certaines limites. Pour les machines appartenant à d'autres générations technologiques cette étude se doit d'être adaptée. Cependant, nous devons préciser que la formalisation des connaissances de tous les techniciens avec différents domaines de connaissances n'est pas évidente. De même, la collecte d'information(s) des acteurs d'une entreprise reste difficile à réaliser. En effet, lorsque les employés ne sont pas sensibilisés à une approche managériale de retour d'expérience, il existe un risque élevé de perte des informations et des connaissances en collectant les différents points de vue de plusieurs experts. La construction de base de données reste guère aisée au regard de toutes les logiques des modes de résolution de problèmes. D'un point de vue pragmatique, il est également nécessaire d'entretenir une maintenance régulière pour la mise à jour des informations.

Cette étude a été réalisée avec quinze protocoles de décisions. On pourrait alors tout à fait envisager d'autre démarche pour la extraction et formalisation des connaissances comme le formalisme de représentation orienté objet U.M.L. (Unified Modeling Language) pour modéliser le domaine. Nous aurions pu également envisager de faire un système hybride, c'est-à-dire, l'intégration d'un système à base de règles¹ dans le système RàPCC. Notre proposition de maquette « GOSHAYESH » a su répondre à une situation réelle concordant avec les besoins de l'entreprise étudiée ; cependant, afin de rendre informatiquement opérationnelle cette approche, il est possible de développer le choix des descripteurs afin de réaliser une remémoration guidée par l'adaptation. Nos travaux proposent alors plusieurs perspectives :

- L'étude sur l'aide au diagnostic des pannes des machines industrielles doit être développée pour toutes les pannes et dysfonctionnements. Nous envisageons de généraliser et développer notre proposition pour tous les types de machines. Il pourrait également être envisageable d'intégrer cet outil dans le modèle de fonctionnement des machines. Les pannes aperçues sur les machines pourront être intégrées dans des études approfondies selon le niveau des problèmes de conception et de modélisation des pièces et outils auprès des fournisseurs.

¹ L'élément de base de ces systèmes est la règle de production qui a la forme suivante : Si <condition> Alors <action>

De même, afin d'informatiser le système dans l'entreprise, il sera nécessaire d'identifier les descripteurs d'un problème et de préciser celles qui jouent, le rôle le plus important dans la résolution du problème.

Autrement dit, la nouvelle problématique de recherche qui se poserait à nous pourrait être de savoir sur quel paramètre de la procédure de remémoration, peut-on agir pour qu'elle soit guidée par l'adaptation ? La question suivante devient donc légitime : dans l'algorithme¹ présenté dans le chapitre 4, il n'apparaît aucun paramètre. Pour y répondre, rappelons tout d'abord que pour être manipulable informatiquement, les problèmes (notamment) doivent être représentés dans un langage adéquat : le texte de $client_{t=i}$ doit être traduit par une expression de ce langage. Or ce langage est nécessairement plus pauvre que la langue naturelle ; cette traduction s'accompagnera donc d'une perte d'informations. Le paramètre sur lequel agir pour prendre en compte l'adaptation lors de la remémoration est le choix de ce langage. Nous pouvons envisager de poursuivre plusieurs perspectives: le développement du système de RÀPCC pourrait se faire en s'appuyant sur un formalisme de logique de descriptions [Baader et al., 2003] et utiliser un des moteurs d'inférences pour ces logiques. On pourrait également envisager d'intégrer dans le système des connaissances sur le modèle de fonctionnement des machines. Cela permettrait d'associer plus finement des explications aux questions et réponses lors du dialogue opérateur-client.

Parallèlement, nous pouvons distinguer quatre axes de recherche :

- Il serait intéressant d'appliquer d'autres phases du système RàPC comme révision et mémorisation ainsi que la phase maintenance dans le système.
- Il serait possible de prendre en compte plus de critères dans le processus de remémoration en utilisant d'autres méthodes telles que les méthodes analyse multicritère.
- Il est également possible d'envisager d'appliquer ces travaux dans un autre type d'entreprise : Notamment, une application dans la démarche qualité du secteur des services.
- Enfin, comment le raisonnement à partir de cas conversationnel pourrait-il accélérer le processus de l'innovation dans les entreprises ?

Nous espérons que notre réflexion aura contribué à ouvrir des pistes de recherche et à orienter leurs travaux de manière à contribuer à l'épanouissement des sciences du génie industriel. Si tel est le cas, c'est que notre aventure personnelle, intellectuelle et scientifique a permis une ouverture inhérente à toute science.

¹ Cf. § 4.7.

BIBLIOGRAPHIE

- Aamodt, A., (2004). « Knowledge –intensive case-based reasoning in CREEK », *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3155, Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 1- 15.
- Aamodt, A., (1991). *A Knowledge intensive approach to problem solving and sustained learning*, Ph.D. dissertation, University of Trondheim, Norwegian Institute of Technology, University Microfilms PUB 92-08460.
- Aamodt, A., (1990a). “A computational model of knowledge-intensive learning and problem solving”. In Wielinga, B., et al. (eds.), *Current Trends in knowledge Acquisition*, IOS Press.
- Aamodt, A., (1990b). “Knowledge-intensive case-based reasoning and sustained learning”, In *Luigia Aiello (eds.), Proceeding of the 9th European Conference on Artificial Intelligence*, Pitman Publishing, pp. 1-6.
- Aamodt, A., (1989). “Towards robust expert systems that learn from experience - an architectural framework”. In, *EKAW-89: Third European Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop*, Boose, J., Gaines, B. & Ganascia J.-G. (eds.), Paris, pp. 311-326.
- Acorn, T.L., & Walden, S.H., (1992). “SMART: Support management automated reasoning technology for COMPAQ customer service”, *Proceedings of the Fourth Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*. San Jose, CA: AAAI Press.
- AFNOR (2001). *Norme X60-319/NF EN 13306: terminologie de la maintenance*, AFNOR, Paris.
- Aha, D.W., & Gupta, K.M., (2002). “Causal query elaboration in conversational case-based reasoning”, In *Proceedings of the Fifteenth Conference of the Florida AI Research Society*, Pensacola Beach, FL: AAAI Press, pp. 95-100.
- Aha, D.W., Breslow, L.A., & Munoz-Avila, H., (2001). “Conversational case-based reasoning”, *Applied Intelligence*, vol. 14, Kluwer Academic Publisher, Manufactured in The Netherlands, pp. 9-32.
- Aha, D.W., Maney, T., & Breslow, L.A., (1998). “Supporting dialogue inferencing in conversational case-based reasoning”, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1488, pp. 262-270.
- Aha, D.W., (1998). “The omnipresence of case-based reasoning in science and application,” *Expert Update*, vol. 1, pp. 29–45.
- Aha, D.W., & Breslow, L.A., (1997). “Refining conversational case libraries”. *Lecture Notes in Computerr Science*, Springer-Verlag, Berlin, vol. 1266, pp. 267-278.
- Aït-El-Hadj, S., & Boly, V., (2009). *Les systèmes techniques : l'évolutions et ingénierie de la conception*, Edition Hermes-Lavoisier.
- Althoff, K.D., Maurer, F., Traphoener, R., & Wess, S., (1992): “MOLTKE - An Integrated Workbench for Fault Diagnosis in Engineering Systems”, in: S. Hashemi and J.P.

- Marciano and G. Gouarderes: *Proceedings 4th International Conference on Artificial Intelligence & Expert Systems Applications (EXPERTSYS-92)*, Paris, Oct. 21-22.
- Althoff, K. D., & Wess, S., (1991). "Case-Based Knowledge Acquisition, Learning, and Problem Solving in Diagnostic Real World Tasks", *Proceedings EKAW 1991*.
- Althoff, K.D., De la Ossa, A., Maurer, F., Stadler, M. & Wess, S. (1989). "Adaptive Learning in the Domain of Technical Diagnosis". In *Proceeding Workshop on Adaptive Learning*, FAW Ulm.
- Althoff, K.D., (1989). "Knowledge acquisition in the domain of CBC machine centres: the MOLTKE approach". In, *EKAW-89, Third European Workshop on Knowledge-Based Systems*, Boos, J., Gaines, B. & Ganascia, J.G. (Eds), Paris, July 1989, pp.180-95.
- Altshuller G.S., (1999). *The Innovation Algorithm*, Technical Innovation Center.
- Altshuller, G.S., (1988). *Creativity as an exact science*, New York, Gordon and Breach.
- Arcos, J.L., (2004). "Improving the quality of solutions in domain evolving environments", In Funk, P., & Gonzalez Calero, P. A. (Eds.): *ECCBR 2004, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 3155, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 464-475.
- Armaghan, N., Lieber, J., Renaud, J. (2008 a). "Towards a Conversational Case-Based Reasoning System to Assist the Operator of an After-Sales Service", In *The Third European Conference on Management Of Technology (EuroMOT), 17-19 September 2008, CERAM Business School, Nice, Sophia Antipolis, France*.
- Armaghan, N., Lieber, J., & Renaud, J. (2008 b). "Vers un système de raisonnement à partir de cas conversationnel pour assister des opérateurs d'un service après-vente", In *De Loor, P., & Bénard, R. éd., 16^e Atelier de Raisonnement à Partir de Cas*, 1-2 avril 2008, Nancy, pp. 19-23.
- Aubret, J., Gilbert, P., (2003). *Valorisation et validation de l'expérience professionnelle*, Dunod, Collection Les Topos, Paris, ISBN 2 10 006925 X, 128 pages.
- Auriol, E., (1995). *Intégration d'approches symboliques pour le raisonnement à partir d'exemples ; L'induction et le raisonnement par cas dans le diagnostic technique*, Thèse de Doctorat, L'Université Paris-IX Dauphine.
- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., & Patel-Schneider, P., editors (2003). *The Description Logic Handbook*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Balmisse, G., (2002). *Gestion des connaissances : Outils et applications du knowledge management*, Vuibert, Paris, 266 pages, ISBN 2-7117-8697-8.
- Bareiss, E.R., (1988). *PROTOS: A Unified Approach to Concept Representation, Classification, and learning*, Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, University of Texas, USA.
- Beauboucher, N., (1994). *Anais: Raisonnement à partir de cas en résolution de problèmes*, Thèse de doctorat, Université Paris 6, Paris, France.

- Bénard, R., De Loor, P., (2008). « La révision et l'apprentissage de cas pour les simulations temps-réel en réalité virtuelle », In De Loor, P, Bénard, R. (éd.) *en 16^e atelier du Raisonnement à Partir de Cas*, avril 2008, Nancy, France. pp. 24-35.
- Bergmann, R., (2002). « Experience Management: Foundations, Development Methodology, and Internet-Based Applications », Vol. 2432, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, Berlin.
- Bienayamé, M., (1994). « L'économie des innovations technologiques », *Que sais-je ?*
- Branting, K., Lester, J., & Mott, B., (2004). "Dialogue management for conversational case-based reasoning", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 3155, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 77-90.
- Branting, K. (1991). "Exploiting the complementarity of rules and precedents with reciprocity and fairness", In, *Proceedings of the Case-Bases Reasoning Workshop 1991*, Washington, DC, May 1991, Sponsored by DARPA. Morgan Kaufmann, pp. 39-50.
- Brunet, J., Jaume, D., Labarrère, M., & Vergé, M., (1990). *Détection et diagnostic de pannes : Approche par modélisation*, éd. Hermes, Paris, 236 pages, ISBN 2-86601-241-0.
- Bukowitz, W., & Williams, R., (2000). « *Gestion des connaissances en action* », Paris : Editions Village Mondial, 373 pages.
- Bussenault, C., & Pretet, M., (2002). *Économie et gestion de l'entreprise*, éd. Vulbert, 3^e édition, 236 pages, ISBN 2 7117 9575 6.
- Carbonell, J.G., (1986). "Derivational Analogy: A theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition, Machine Learning, An artificial intelligence approach", *Michalski, Carbonell and Mitchell (Eds.)*, vol. 2, n°14, Morgan Kaufmann, Boston, PP. 317-392.
- Carrick, C., Yang, Q., Abi-Zeid, I., & Lamontagne, L.,(1999). "Activating CBR Systems through Autonomous Information Gathering", *Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1650*, Springer Berlin/ Heidelberg, ISBN 978-3-540-66237-2, pp. 74-88.
- Caulier, P., (2001). « Méthodologie de conception ascendante de systèmes d'information », In Zacklad, M. & Grundstein, M (éds.), *Ingénierie et capitalisation des connaissances*, Hermes Science, Paris, 181 pages, ISBN 2-7462-0234-4.
- Changeux, J. P., (2004). *L'homme de vérité*, Collection Poches Odile Jacob, 480 pages.
- Chebel Morello, B., (2008). « Enjeux et processus du retour d'expérience ». In Renaud, J., Bonjour, E., Chabel-Morello, B. & Matta, N. (éd.), *Retour et capitalisation d'expérience, outils et démarche*,. La Plaine Saint-Denis: AFNOR, pp. 184.
- CIGREF (2000) – *Gérer les connaissances* – Paris:(<http://www.cigref.fr>).
- Clermont, Ph., Béler, C., Rakoto, H., Desforges, X., & Geneste, L. (2007). « Capitalisation et exploitation du retour d'expérience : un raisonnement à partir de cas étendu aux systèmes sociotechniques », In Renaud, J., Chebel-Morello, B., Fuchs, B., Lieber, J., (éd.),

Raisonnement à partir de cas 1 ; conception et configuration de produits, Vol. 1, Paris : Lavoisier, Hermes Science, 287 pages, ISBN 2-7462-1549-7.

Cortes Robles, G., Negny, S., & Le Lann, J.M., (2008). « L'intégration du raisonnement à partir de cas et la théorie TRIZ: une nouvelle approche pour structurer une mémoire de cas », In In Renaud, J., Bonjour, E., Chabel-Morello, B. & Matta, N. (éd.), *Retour et capitalisation d'expérience, outils et démarche*, La Plaine Saint-Denis: AFNOR, pp. 184.

Cortes Robles, G., (2006). *Management de l'innovation technologique et des connaissances: synergie entre la théorie TRIZ et le raisonnement à partir de cas*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.

Courville, B., (2000). "Prévention et retour d'expérience à Air France", *Congrès SFIMAR*, Lille, 06-07 octobre 2000, France.

Daniel Le Bozec, C., (2001). *Gestion des connaissances multi-expertes en imagerie médicale « IDEM » : Images et diagnostics par l'exemple de médecine*, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, France.

Davenport, T., & Probst, G., (2000). *Knowledge management case book : Siemens best practices*, In Verlag, MCD & Wiley, J., 270 pages, ISBN 3895781592.

Dieng-Kuntz, R., Corby, O., Gandon, F., Giboin, A., Golebiowska, J., Matta, N., & Ribière, M., (2001). *Méthode et outils pour la gestion des connaissances: une approche pluridisciplinaire du knowledge management*, Dunod, Paris, 2^e édition.

Desinde, M., (2006). *Contribution à la mise au point d'une approche intégrée analyse diagnostic/ analyse de risqué*, Thèse de Doctorat, L'Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

Doyle, M., & Cunningham, P., (2000). "A dynamic approach to reducing dialog in on-line decision guides", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1898, pp. 49-60.

Ergazakis, K., Karnezis, K., Metaxiotis, K. & Psarras, I., (2002). " Knowledge management in entreprises: A research agenda", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 2569, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 37-48.

Ermine, J.L., (2008). "Un modèle formel pour la gestion des connaissances", In Ermine, J.L., (éd.), *Management et ingénierie des connaissances : modèles et méthodes*, Lavoisier, Hermes Science, Paris, 359 pages, ISBN 978-2-7462-1945-8.

Ermine, J.L., (1989). *Systèmes experts*, Lavoisier, Paris.

Fuchs, B., (2008). « Raisonnement à Partir de Cas ». In Renaud, J., Bonjour, E., Chabel-Morello, B. & Matta, N. (éd.), *Retour et capitalisation d'expérience, outils et démarche*, La Plaine Saint-Denis: AFNOR, pp. 184.

Fuchs, B., Lieber, J., Mille, A., & Napoli, A., (2006). "Une première formalisation de la phase d'élaboration du raisonnement à partir de cas", *le 14^e Atelier de Raisonnement à Partir de Cas*, Mars 2006, Besançon, France.

- Fuchs, B., (1997), *Représentation des connaissances pour le raisonnement à partir de cas, le système ROCADE*, Thèse de doctorat, Université Jean Monnet de Saint-Etienne, France.
- Fuchs, B., Chiron, B., & Mille, A., (1995). "Decision Helping in Process Supervision: the Padim Project", *Workshop on Practical Development Strategies for Industrial Strength Case-Based Reasoning Application, 16th International Conference on Artificial Intelligence*, Montréal, Canada.
- Gebhardt, F., Vob, A., Grather, W. & Schmidt-Beltz, B., (1997). *Reasoning with Complex Cases*, Kluwer Academic, Norwell, MA.
- Giampapa, J.A., & Sycara, K., (2001). "Conversational case-based planning for agent team coordination", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2080, Springer-verlag, london, pp. 189-203.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J., (1980). "Analogical Problem Solving", *Cognitive Psychology*, Vol. 12, pp. 306-355.
- Glaserfeld, E., (1994). « *Pourquoi le constructiviste doit-il être radical ?* », revue des sciences de l'éducation, vol. 20, n°2, pp. 21-29.
- Göker, M., Roth-Berghofer, T., Bergmann, R., Pantleon, T., Traphoner, R., Wess, S., & Wilke, W., (1998). "The development of HOMER: A case-based CAD/CAM help-desk support tool". *Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin/Heidelberg*, vol. 1488, pp. 346-357.
- Gomes, P., Pereira, F.C., Paiva, P., Seco, N., Carreiro, P., Ferreira, L., & Bento, C., (2004). "Using WordNet for case-based retrieval of UML models", *AI Communications, IOS Press*, vol. 17, pp. 13-23.
- Gomez-Gauchia, H., Diaz-Agudo, B., & Gonzalez-Calero, P.A., (2006a). "Conversational strategies in COBBER: an affective CCBR framework", *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Taylor & Francis Group*, vol. 18, n°4, pp.449-469.
- Gomez-Gauchia, H., Diaz-Agudo, B., & Gonzalez-Calero, P.A., (2006b). "Ontology-driven development of conversational CBR systems", *Lecture Notes in Computer Science, vol. 4106, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp. 309-324.
- Grant, Ph.W., Harris, P.M., & Moseley, L.G., (1996). "Fault diagnosis for industrial printers using case-based reasoning", *Engineering Application Artificial Intelligence*, Vol. 9, No. 2, Elsevier, Great Britain, pp. 163-173.
- Grundstein, M., (2000). *Management des connaissances de l'entreprise : problématique, axe de progrès, orientation*, Rapport de recherche, Université Paris-Dauphine.
- Gu, M., (2006). *Knowledge-intensive conversational case-based reasoning in software component retrieval*, Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Gu, M. (2005). "Supporting generalized cases in conversational CBR", *Lecture Notes in Computer Science, vol. 3789, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp. 544-553.

- Gu, M., Aamodt, A., (2005). "A knowledge-intensive method for conversational CBR", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3620, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 296-311.
- Gu, M., & Aamodt, A., (2004): "Explanation-boosted question selection in conversational CBR". In Gervas, P., & Gupta, K. M., (Eds.), *Proceedings of the ECCBR 04 Workshops, 7th European Conference on Case-Based Reasoning*. Madrid, Spain, 30th August - 2nd September 2004, Madrid, ISBN 84-89456-36-4, pp. 105-114.
- Gupta, K.M., Aha, D.W., (2007). "Conversation for textual case-based reasoning", In Wilson, D., & Khemani, D., (Eds.): *Proceeding of the Workshop on Textual Case-Based Reasoning; Beyond Retrieval, ICCBR-07*, Belfast, Northern Ireland.
- Gupta, K.M., & Aha, D.W. (2003). "Incremental query formulation in mixed-initiative case-based reasoning". In L .McGinity (Ed.) *Proceedings of the ICCBR-03 Workshops*,. Trondheim, Norway: NTNU, Department of Computer and Information Science, pp. 172-180.
- Gupta, K. M., Aha, D. W., Sandhu, N., (2002). "Exploiting taxonomic and causal relations in conversational case retrieval", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2416, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 133-147.
- Gupta, K.M., (2001). "Taxonomic conversational case-based reasoning". *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2080, Springer-Verlag, London, pp. 219-233.
- Gupta, K.M., (1998). "Knowledge-based system for troubleshooting complex equipment", *International Journal of Information and Computing Science*, vol. 1, n°1, pp. 29-41.
- Haouchine, K.M., Chebel-Morello, B. & Zerhouni, N., (2006). « Méthode de suppression de cas pour une maintenance de base de cas », *14^e Atelier du Raisonnement à Partir de Cas*, Mars 2006, pp. 39-50, Besançon, France.
- Hammond, K.J., (1986). "CHEF: A Model of Case-Based Planning". In *Proceeding American Association for Artificial Intelligence, AAAI-86*, August 1986. Philadelphia, PA, USA.
- Hedberg, L., Nystrom, P., & Strabuck, W., (1976). "Camping on seesaws: Prescriptions for a self-designing organization", *Administrative Science Quarterly*, vol. 21, pp. 41-65.
- Hermosillo Worley, J., Rakoto, H., Grabot, B., Geneste, L., (2005). "A competence approach in the experience feedback process", *IFIP International Federation for Information Processing*, vol. 160, Springer Boston, pp. 253–266.
- Hinrichs, T.R., (1992). *Problem solving in open worlds*, Lawrence Erlbaum Associates.
- Inference Corporation, (1995). "CBR2: Designing CBR Express Case Bases," unpublished manuscript.
- Jonnaert, Ph., (2002). *Compétences et socioconstructivisme. Un cadre théorique*. Bruxelles : De Boeck-Université.

- Jurisica, I., Glasgow, J., & Mylopoulos, J., (2000). "Incremental iterative retrieval and browsing for efficient conversational CBR systems", *Applied Intelligence*, Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, vol. 12, pp. 251-268.
- Kamsu Foguem, B., Coudert, T., Béler, C., & Geneste, L., (2008). "Knowledge formalization in experience feedback process: An ontology-based approach", *Computers in Industry*, Published by Elsevier, vol. 59, pp. 694-710.
- Keane, M., (1988). "Where's the Beef? The absence of pragmatic factors in theories of analogy", In Kodratoff, Y. (ed.), *Proceeding 8th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-88, Munich, Germany*, Pitmann Publishing, ISBN 0-273-08798-3, August 1-5, pp. 327-332.
- Kolodner, J., (1993). *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993.
- Kolodner, J., (1991). "Improving human decision making through case-based decision aiding", *AI Magazine*, vol. 12, n°2, pp. 52-68.
- Kolodner, J.L., (1983a). "Maintaining Organization in a Dynamic Long-Term Memory", *Cognitive Science*, vol. 7, n°4, pp.243-80.
- Kolodner, J.L., (1983b). "Reconstructive Memory: A Computer Model", *Cognitive Science*, vol. 7, n°4, pp.281-328.
- Koton, P., (1989). *Using experience in learning and problem solving*, Massachusetts Institute of Technology, Laboratory of Computer Science, Ph.D. Thesis, MIT/LCS/TR-441.
- Lamontagne, L., (2004). *Une approche CBR textuel de réponse au courrier électronique*, Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, Canada.
- Lamontagne, L., Lapalme, G., (2002). « Raisonement à Partir de Cas Textuel - état de l'art et perspectives futures », *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 16, n°3, Lavoisier, paris, pp. 339-366.
- Landy, G., (2002). *AMDEC, Guide pratique*, éd. AFNOR, Saint-Denis La Plaine, 207 pages, ISBN 2-12-475055-0.
- Lannoy, A., Procaccia, H., (1994). *Méthodes avancées d'analyse des bases de données du retour d'expérience industriel*, Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, éd. Eyrolles, Paris, 466 pages, ISSN 0399-4198.
- Leake, D., & Wilson, D., (1998). "Categorizing case-base maintenance: Dimensions and directions", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1488, Springer-Verlag, Berlin, pp. 196-207.
- Leake, D.B., (1996). "CBR in context: the present and future", In: Leake, D.B., (Ed.), *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions*, AAAI Press/The MIT Press, pp. 1-35.
- Lebeau, D., Vinals, J., (2006). *Conseil de la science et de la technologie, Avis pour une gestion stratégique de l'innovation dans le secteur manufacturier*, Québec, ISBN 2-550-47155-5.

- Lebraty, J., Teller, R., (1994). *Ingénierie du diagnostic global d'entreprise*, (éd.) Liaisons, Paris, 165 pages, ISBN 2.87880.095.8.
- Leonard-Barton, D., (1995). *Wellsprings of knowledge: Building and sustaining the sources of innovation*, Harvard Business School Press, Boston, USA.
- Lieber, J., (1997). *Raisonnement à partir de cas et classification hiérarchique. Application à la planification de synthèse en chimie organique*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Nancy 1, Nancy, France.
- Lieber, J., & Napoli, A., (1996). "Adaptation of Synthesis Plans in Organic Chemistry", In *proceeding of workshop on Adaptation in Case-Based Reasoning*, Voss, A., et al. (éd), ECAI-96, Budapest, Hungary.
- Limnios, N., (2007). *Fault trees*; Control Systems, Robotics and Manufacturing Series, (Eds.) ISTE Ltd, 223 pages.
- Limnios, N., (2005). *Arbres de défaillances*, 2^e édition revue et augmenté, Lavoisier, Hermes Science, 221 pages, ISBN 2-7462-1067-3.
- Lopez De Mantaras, R., & Plaza, E., (1997). "Case-based reasoning: An overview", *AI Communications*, vol. 10, n°1, pp. 21-29.
- Manago, M., (1991a). « KATE : intégration de technique numérique et symbolique en apprentissage », In Cépaduès édition, Diday, E., & Kodratoff, Y., *Induction Symbolique et Numérique à Partir de Données*.
- Manago, M., (1991b). *Intégration de techniques numériques et symboliques en apprentissage automatique*, Thèse de Doctorat, L'Université Paris-Sud Orsay.
- Maret, P., Pinon, J.M., (1997). *Ingénierie du savoir-faire, compétences individuelles et mémoire collective*, Collection HERMES, Informatique et gestion.
- Marion, A., (1999). *Le diagnostic d'entreprise : méthode et processus*, Collection Gestion série : Politique générale, finance et marketing, (éd.) Economica, Paris, 409 pages.
- Markus, N., Klaus-Dieter, A., & Carsten, T., (2001). "Systematic maintenance of corporate experience repositories", *Computational Intelligence*, vol. 17, n°2, Blackwell Publishers, pp. 364-386.
- Matta, N., (2008). « Capitalisation des connaissances et mémoire de projets », In Renaud, J., Bonjour, E., Chabel-Morello, B. & Matta, N. (dir.), *Retour et capitalisation d'expérience, outils et démarche*,. La Plaine Saint-Denis: AFNOR, pp. 184.
- Matta, N., Corby, O., Ribiere, M., (1999). *Méthode de capitalisation de mémoire de projet*, Rapport de recherche n° 3819, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) Sophia Antipolis, 71 pages, France.
- McSherry, D., (2003). "Increasing dialogue efficiency in case-based reasoning without loss of solution quality". In *Proceedings of the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Acapulco, Mexico, pp. 121-126.

- McSherry, D., (2001a). "Minimizing dialogue length in interactive case-based reasoning". In Nebe, B., (ed), *Proceedings of the Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann, pp. 993-998, Seattle, Washington, USA.
- Mcsherry, D., (2001b). "Interactive Case-Based Reasoning in Sequential Diagnosis", *Applied Intelligence*, vol. 14, pp. 65-76.
- Mille, A., (2006). "Tutorial: raisonner à partir de cas: principe, théorisation et ingénierie de la connaissance associée"; présenté en 14^e Atelier du Raisonement à Partir de Cas, Besançon, France.
- Mille, A., Fuchs, B. et Herbeaux O., (1996). "A unifying framework for adaptation in case-based reasoning", *Workshop on Adaptation in Case-Based reasoning, European Conference on Artificial intelligence, ECAI-96*, pp. 22-28, Budapest, Hungary.
- Mille, A., (1995). *Raisonnement basé sur l'expérience pour coopérer à la prise de décision, un nouveau paradigme en supervision industrielle*, Thèse de doctorat, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France.
- Minor, M., (2006). "Experience management with case-based assistant systems", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4106, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 182-195.
- Moore, C.J., Lehane, M.S., & Proce, C.J., (1994). "Case-Based Reasoning for Decision Support in Engineering Design". In *Proceeding. IEE Colloquium on Case-Based Reasoning: Prospects for Applications*, Digest No: 1994/057, pp.4/1-4/4.
- Ni, Z.W., Yang, S.L., Li, L.S., Jia, A.Y., (2003). "Integrated Case-Based Reasoning", In *Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 3, 2-5 November, pp. 1845-1849.
- Noh, J.B., Leeb, K.C., Kim, J.K., Lee, J.K., Kim, S.H., (2000). "A Case-Based reasoning Approach to Cognitive Map-Driven Tacit Knowledge Management", *Expert Systems Applications*, vol.19, pp. 249-259.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H., (1995). *The knowledge creating –company*, Oxford University Press, Oxford.
- Pal, S.K., Shiu, S.C.K., (2004). *Foundation of soft case-based reasoning*, Wiley Series on Intelligent Systems IEEE, Albus, J.S., Meystel, A.M., Zadeh, L.A., Series Editors, ISBN 0471086355, 9780471086352, 274 pages.
- Piechowiak, S., (2003). « Intelligence artificielle et diagnostic », *Techniques de l'ingénieur*, Paris, pp. 1-20.
- Perrin, A., (2004a). *La valorisation des pratiques de management des connaissances, outils de mesure et mesure des outils*, Rapport de recherche, Laboratoire Économie et Management, Université de Nice Sophia Antipolis, France.
http://www.alexandreperin.com/articles/article_3.pdf
- Perrin, A., (2004 b). *La valorisation du management des connaissances dans les organisations*, Mémoire de DEA, Université de Nice Sophia Antipolis, France.

- Porter, B.W., & Bareiss, E.R., (1986). "PROTOS: An experiment in knowledge acquisition for heuristic classification tasks". In *Proceedings of the First International Meeting on Advances in Learning (IMAL)*, pp.159-74, Les Arcs, France.
- Pourcel, C., & Stock, R., (2004). « Capitalisation des connaissances dans un projet de réingénierie d'entreprise », In Eynard, B., Lombard, M., Matta, N., Renaud, J., (dir.), *Gestion dynamique des connaissances industrielles*, Lavoisier, Hermes Science, Paris, 377 pages, ISBN 2-7462-0954-7.
- Quinlan, J.R., (1986). *Induction of decision trees*, Machine Learning, vol. 1, pp. 81-106.
- Renaud, J., (2008). « Support de connaissances », In Renaud, J., Bonjour, E., Chabel-Morello, B. & Matta, N. (dir.), *Retour et capitalisation d'expérience, outils et démarche.*, La Plaine Saint-Denis: AFNOR, pp. 184.
- Rakoto, H., (2004). *L'intégration du retour d'expérience dans les processus industriels : application à Alstom Transport*, Thèse du Doctorat, École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, France.
- Rasovska, I., Chebel-Morello, B., & Zerhouni, N., (2007). « Un outil d'aide à la décision basé sur le raisonnement à partir de cas dans une plate-forme d'e-maintenance », In Renaud, J., Chebel-Morello, B., Fuchs, B., Lieber, J., (éd.), *Raisonnement à partir de cas 2 ; surveillance, diagnostic et maintenance*, Vol. 2, Paris : Lavoisier, Hermes Science, 264 pages, ISBN 978-2-7462-1550-4.
- Reinartz, T., Iglezakis, I., and Roth-Berghofer, T., (2001). "Review and restore for case base maintenance", *Computational Intelligence: Special issue on maintaining case-based reasoning systems*, vol. 17, n°2, pp. 214-234.
- Reinartz, T., Iglezakis, I., and Roth-Berghofer, T., (2000). "On quality measures in case base maintenance". In Blanzieri, E., & Portinale, L., (Eds.), *Advances in Case-Based Reasoning*, Springer-Verlag, pp. 247-259.
- Reisbeck, C.K., & Schank, R.C., (1989). *Inside Case-Based Reasoning*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, US.
- REXAO (2003). Groupement REXAO, <http://www.rexao.org>.
- Richter, M.M., (1998). "Introduction CBR technology: from foundation to application", In Lenz, M., Bartsch-Sporl, B., Burkhard, H.D., & Wess, S. (Eds.), *Springer-Verlag*, pp. 1-15.
- Richter, M.M., (1995). "The knowledge contained in similarity measures: Some remarks on the invited talk given", In *ICCBR'95*, Sesimbra, Portugal.
- Richter, M.M., & Wess, S., (1991). "Similarity, uncertainty and case-based reasoning in PATDEX", In *Automated reasoning, essays in honour of Woody Bledsoe*, Kluwer, R.S., Boyer (Eds.), pp. 249-265.
- Roth-Berghofer, T., Iglezakis, I., (2001). "Six Steps in Case-Based Reasoning: Towards a maintenance methodology for case-base systems", In *Proceeding of the 9th German Workshop on Case-Based Reasoning, (GWCBR 2001)*.

- Schank, R.C., (1982). "Dynamic memory: a theory of reminding and learning in computers and people", *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.
- Schank, R.C., & Abelson, R.P., (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, USA.
- Schreiber, G., Wielinga, B., Akkermans, H., Van de Velde, W., & Anjewierden, A., (1994). "CML: The CommonKADS coceptual modelling language", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 867, Springer Berlin/ Hedelberg, pp.1-25.
- Seuranen, T., Hurme, M., Pajula, E., (2005). "Synthesis of separation processes by case-based reasoning", *Computer and Chemical Engineering*, vol. 29, n°6, pp. 1473-1482.
- Sharma, S., & Sleeman, D., (1988). "REFINER: A Case-Based Differential Diagnosis Aide for Knowledge Acquisition and Knowledge Refinement". In, *EWSL 88; Proc. European Working Session on Learning*, pp. 201-210.
- Shimazu, H., (2002). "ExpertClerk: A conversational case-based reasoning tool for developing salesclerk agents in e-commerce webshops", *Artificial Intelligence Review*, vol. 18, *Kluwer Academic Publishers*, Printed in Netherlands, pp. 223-244.
- Shimazu, H., Shibata, A., & Nihei, K. (1994). "Case-based retrieval interface adapted to customer-initiated dialogues in help desk operations", *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence*, vol. 1, Seattle, Washington, *AAAI Press*, pp. 513-518.
- Shin, K., S., Han, I., (2001). "A case-base approach using inductive indexing for corporate bond rating", *Decision Support Systems*, vol. 32, *Elsevier*, pp. 41-52.
- Shin, K.S., Shin, T.S., Han, I., (1997). "Using induction technique to support case-based reasoning: a case of corporate bond rating", In *Proceedings of MSrOR Society Conference*, pp. 199-202, Seoul, Korea.
- Simpson, R.L., (1985). *A Computer Model of Case-Based Reasoning in Problem Solving: An Investigation in the Domain of Dispute Mediation*, Technical Report GIT-ICS-85/18, Georgia Institute of Technology, School of Information and Computer Science, Atlanta, USA.
- Smyth, B., (1996). *Case-Based Design*, Doctoral thesis, Trinity College, Dublin, Ireland.
- Smyth, B. & Keane, M.T., (1996). "Using adaptation knowledge to retrieve and adapt design cases", *Knowledge-Based Systems*, vol. 9, n°2, pp. 127-135.
- Smyth, B., & Keane, M.T., (1993). "Retrieving Adaptable Cases. The Role of Adaptation Knowledge in Case Retrieval", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 837, Springer-Verlag, pp. 209-220.
- Smyth, B., & Keane, M.T., (1995). "Remembering to Forget: A Competence-preserving Deletion Policy for CBR Systems", In *Proceeding of the 14th Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-95*, pp. 377-382, Montréal, Canada.

- Steel, L., (1993). "Corporate knowledge management, Management of industrial and corporate memory", In *Proceeding of ISMICK 93*, Comiègne, France.
- Sycara, E. P., (1987). *Resolving adversarial conflicts: An approach to integrating case-based and analytic methods*, Technical Report GIT-ICS-87/26, Georgia Institute of Technology, School of Information and Computer Science, Atlanta GA.
- Tarondeau, J.C., (2003). *Le management des savoirs, Que sais-je ?*, éd. Puf, Presses Universitaires de France, Paris, 3^e édition, 1^{er} édition 1998, 127 pages, ISBN 2 13052494 x.
- Travé-Massuyès, L., Dague, Ph., & Guerrin, F., (1997). *Le raisonnement qualitatif : pour les sciences de l'ingénieur, diagnostic et maintenance*, éd. Hermès, Paris, 505 pages, ISBN 2-86601-611-4
- Watson, I., (2001a). "A case study of maintenance of a commercially fielded case-based reasoning system", *Computational Intelligence*, vol. 17, n°2, Blackwell Publishers, pp. 387-398.
- Watson, I., (2001b). « Knowledge Management and Case-Based Reasoning: A Perfect Match? », *Proceedings of the Fourteenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, AAAI Press*, pp. 118-122.
- Watson, I., (2000). "Report en expert system 99", *Workshop: Using AI to Enable Knowledge Management. In, Expert Update*, vol. 3, n° 2, pp. 36-38.
- Watson, I., (1999). "Case-based reasoning is a methodology not a technology", *Knowledge - Based Systems*, vol.12, n°5, pp. 303-308, Elsevier, UK.
- Watson, I., & Abdullah, S. (1994). "Developing case-based reasoning systems: A case study in diagnosing building defects", In, *Proc. IEE Colloquium on Case-Based Reasoning: Prospects for Applications*, Digest No: 1994/057, pp.1/1-1/3.
- Watson, I., & Marir, F., (1994). "Case-Based Reasoning: A Review", *Cambridge University Press. The Knowledge Engineering Review*, vol. 9, n°4, pp. 355-381.
- Weber, R., & Wu, D., (2004). "Knowledge Management for Computational Intelligence Systems", In *Proceeding of the Eighth IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE'04)*, Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE), 1530-2059/04, pp. 116-125.
- Weber, R., Aha, D.W., Munoz-Avila, H., & Breslow, L.A., (2000). « An intelligent lessons learned process », *Lecture Notes in Computer Science, vol. 1932, Springer-Verlag Berlin*, pp. 358-367.
- Wettschereck, D., Aha, D.W., and Mohri, T., (1997). "A review and comparative evaluation of feature weighting methods for lazy learning algorithms", *Artificial Intelligence Review*, vol. 11, pp. 273-314.
- Wielinga, B., et al., (1993). « Towards a unification of knowledge modeling approaches », *Second generation expert systems*, Springer Verlag, New-York, pp. 299-335.

- Wilke, W., Bergmann, R., (1996). "Adaptation with the INRECA system", In *Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Intelligence ECAI 96, Workshop: Adaptation in CBR*, Budapest, Hongry.
- Will, L., & Kolodner, J., (1994). "Towards more creative case-based design systems", In *Proceeding of the twelfth national conference on Artificial Intelligencen, AAAI-94*, vol. 1, Seattle, USA, pp. 50-55.
- Wilson, D.C., & Leake, D.B., (2001). "Maintaining case-based reasoners: dimensions and directions", *Computational Intelligence*, vol. 17, n°2, Blackwell Publishers, pp. 196-213.
- Yang, S., & Robertson, D., (1994). "A case-based reasoning system for regulatory information", In, *Proceeding IEE Colloquium on Case-Based Reasoning: Prospects for Applications*, Digest No: 1994/057, pp.3/1-3/3.
- Zwingelstein, G., (1996). *La maintenance basé su la fiabilité : guide pratique de l'application de la RCM*, éd. Hermes, Paris, 666 pages, ISBN 2-86601-545-2.
- Zwingelstein, G., (1995). *Diagnostic des défaillances : théorie et pratique pour les systèmes industriels*, éd. Hermes, Paris, 601 pages, ISBN 2-86601-463-4.

ANNEXES

Annexe 1. Composants de la machine F37 et de l'Armoire électrique [Source : Notre recherche]

| Composants F37 | Sous composants |
|----------------------------|--|
| Dévidoir | capteur analogique |
| | capteur mécanique |
| | relais |
| | variation autre |
| | connectique |
| | moteur asynchrone |
| Variation autre | Connectique |
| | Fusible |
| | Ventilation |
| | Moteur asynchrone |
| Aménage (axe zéro) | Codeur |
| | Pressostat |
| | Relais |
| | Connectique |
| | Redresseurs |
| Tournette (axe 1) | Variation autre |
| | Capteur inductif |
| | Relais |
| | Connectique |
| | Bobine distributeur |
| Coup | Distribution |
| | Capteur inductif |
| | Relais |
| | Connectique |
| | Bobine distributeur |
| Orientation (axe 2) | Distribution |
| | Relais |
| | Connectique |
| Armoire électrique | capteur inductif |
| | Relais |
| | Connectique |
| | Variateur d'axe (Parvex) |
| | Relayage de sécurité |
| | Gestion entré-sortie |
| | Alimentation autre |
| | Ventilation |
| | Climatiseur |
| | Boite mobile |
| | Relayage mise en puissance des variateurs Parvex |
| | Fusible puissance |
| | PC |
| Écran | |
| Clavier | |
| Imprimant | |
| PC | Carte électronique |
| | Terminal |
| | Disque dur |
| | Connectique |
| Boîte mobile | Connectique |
| | Convertisseur |

| Composant de l'Armoire électrique | Sous-composants |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Variateur Parvex | Connectique |
| | Fusible interne |
| | Réseau CAN |
| | Réseau/ communication |
| | Moteur Brushless |
| | Variateur d'axes |
| Alimentation autre | Alimentation Parvex |
| | Connectique |
| | Fusible interne |
| Gestion de l'entrée-sortie | Alimentation secteur (client) |
| | Module interbus |
| | Connectique |
| | Fusible |
| | Connectique interbus |
| Relayage sécurité | Réseau communication |
| | Connectique |
| | Contacteur |
| | Fusible |
| | Élément de commande |
| | Relais pilz |
| | Disjoncteur moteur |
| Contact électrique | |
| Capteur mécanique | |

Annexe 2. Les sous-thèmes Électrique [Source : Notre recherche]

| | Sous-thème Électrique | Nombres d'appels |
|----|-----------------------|------------------|
| 1 | Variation Parvex | 133 |
| 2 | Moteur Brushless | 95 |
| 3 | Câblage-Connectique | 93 |
| 4 | Capteur Inductif | 92 |
| 5 | Relais | 69 |
| 6 | Carte Électronique | 66 |
| 7 | Alimentation Parvex | 46 |
| 8 | Variation Autres | 44 |
| 9 | Capteur Analogique | 43 |
| 10 | Codeur | 41 |
| 11 | Module Interbus | 37 |
| 12 | Terminal | 34 |
| 13 | Disque Dur | 33 |
| 14 | PC | 33 |
| 15 | Pressostat | 29 |
| 16 | Alimentation Autres | 27 |
| 17 | Armoire | 24 |
| 18 | Câblage | 22 |
| 19 | Connectique | 20 |
| 20 | Capteur Mécanique | 16 |
| 21 | Dévidage | 12 |
| 22 | Contacteur | 11 |
| 23 | Fusible | 9 |
| 24 | Alimentation | 9 |
| 25 | Pliage | 9 |
| 26 | Variateur Fréquence | 8 |
| 27 | Ventilation | 8 |
| 28 | Élément de Commande | 8 |
| 29 | Moteur Asynchrone | 7 |
| 30 | Chanfreinage | 7 |
| 31 | Emboutissage | 6 |
| 32 | Boîtier Roland | 6 |
| 33 | Aménagement | 5 |
| 34 | Climatiseur | 5 |
| 35 | Soudeuse | 5 |
| 36 | Alimentation Schroff | 4 |
| 37 | Onduleur | 4 |
| 38 | CN VME | 4 |
| 39 | Unité de Coupe | 3 |
| 40 | Relais Pilz | 3 |

| | Sous-thème Électrique | Nombres d'appels |
|----|-------------------------|------------------|
| 41 | Variateur Autres | 3 |
| 42 | Réseau CAN | 3 |
| 43 | Contact Precoupure | 3 |
| 44 | Sécurité | 2 |
| 45 | Fin de Course | 2 |
| 46 | Moto réducteur Dévidoir | 2 |
| 47 | Imprimant | 2 |
| 48 | Chariot | 2 |
| 49 | Roue Codeuse | 2 |
| 50 | Disjoncteur Moteur | 2 |
| 51 | Cellules Photoelectre | 2 |
| 52 | Matériel Electromeca | 2 |
| 53 | Règle de Mesure | 2 |
| 54 | Pompe | 2 |
| 55 | Régulation de Réglage | 2 |
| 56 | Module Interbus | 1 |
| 57 | Bras de Cintrage | 1 |
| 58 | Robot | 1 |
| 59 | Post de Reprise | 1 |
| 60 | Press | 1 |
| 61 | Entretien | 1 |
| 62 | Connectique Interbus | 1 |
| 63 | Chanfreinage Électrique | 1 |
| 64 | Indicateur Colmatage | 1 |
| 65 | Réseau/Communication | 1 |
| 66 | Machine Technifor | 1 |
| 67 | Alimentation Secteur | 1 |
| 68 | Bobine Distributeur | 1 |
| 69 | Cellules Laser | 1 |
| 70 | Convertisseur | 1 |
| 71 | Disjoncteur | 1 |
| 72 | Contact Électrique | 1 |

Annexe 3. Évaluation du nombre de pannes par rapport aux thèmes du 1999 au 2007 (A) et leur regroupement (B) [Source : Notre recherche]

| | Thèmes | Nombre d'Appels |
|----|-----------------------|------------------------|
| 1 | Électrique | 1699 |
| 2 | Mécanique-Hydraulique | 385 |
| 3 | Mécanique | 246 |
| 4 | Hydraulique | 244 |
| 5 | Soft | 243 |
| 6 | Aucun | 181 |
| 7 | Électronique | 130 |
| 8 | Utilisation | 73 |
| 9 | Programmation | 71 |
| 10 | Outillage | 60 |
| 11 | Pneumatique | 28 |
| 12 | Installation Globale | 19 |
| 13 | Informatique | 19 |
| 14 | Formation | 9 |
| 15 | Plan Cadkey | 3 |
| 16 | Problème Matière | 3 |

(A)

| | Thèmes | Nombre d'Appels |
|---|---|------------------------|
| 1 | Électrique-Électronique | 1829 |
| 2 | Mécanique-Hydraulique | 875 |
| 3 | Soft-Hard | 243 |
| 4 | Utilisation, formation, programmation des pièces | 155 |
| 5 | Outillage | 82 |
| 6 | Pneumatique | 28 |

(B)

Annexe 4. Liste des symptômes représentés sur le menu d'aide de la machine F37 pour les symptômes A, B, C [Source : Archive de l'entreprise]

Une Organisation des symptômes est réalisée par thèmes suivi des entretiens :

| Symptômes (S) | A : La puissance tombe en mode automatique. La machine est en Arrêt d'Urgence et arrêt de la machine en cours de production |
|---------------|---|
| I | Électrique – Électronique |
| 1 | Arrêt d'Urgence de la machine en cours de cycle avec le défaut « bit51m628 » sur l'axe |
| 2 | Problème axes électriques: absence PUISSANCE OK alimentation variateur: (E1, 4=1). |
| 3 | Problème axes électriques: absence READY alimentation (E1, 5=1), voir alimentation et variateurs. |
| 4 | Problème communication avec les E/S (Bus CAN no:1) -> rebooter la machine. Statut bus 1: |
| 5 | Problème communication avec les axes (Bus CAN no:0) -> rebooter la machine. Status bus 0: |
| 6 | Variateur dévidoir non prêt (E2.2 = 1) |
| 7 | Température armoire excessive : vérifier la ventilation (E0, 14 = 0). |
| 8 | Position demandée différente de la position atteinte. (défaut U) |
| 9 | Réseau interbus inactif -> redémarrage réseau OBLIGATOIRE (presser icône "Restart INTERBUS" ou touche "I") |
| 10 | Défaut détecté sur un module du bus de terrain interbus |
| II | Utilisation (formation, programmation des pièces par opérateur, utilisation de la machine) |
| 11 | Bras dévidoir position maxi (E2.1 = 1) |
| 12 | Pb glissement aménagement fil : ctrl. serrage du fil |
| 13 | Arrêt d'urgence enfoncé : pupitre ou boîtier mobile (E1.0 = 0). |
| III | Pneumatique |
| 14 | Manque d'air (E2.8=1) |

(A)

| Symptômes (S) | B : la machine ne commence pas ou ne finit pas son cycle (elle reste en puissance) |
|---------------|---|
| I | Électrique – Électronique |
| 1 | Attente puissance OK - variateurs OK, freins desserrés et pression d'air. |
| 2 | RAZ - attente rentrée de la coupe |
| 3 | RAZ - attente rentrée du doigt |
| 4 | Attente perte point 0 axe 1 (E3.9=0) |
| 5 | Attente point 0 axe 1 (E3.9=1) |
| 6 | Attente fin de positionnement axe 2 (Orientation) |
| 7 | Orientation impossible, vérifier les capteurs de la coupe 3,10=0 et 3,11=1 |
| 8 | Attente point 0 axe 2 (E2.9=1) |
| 9 | Attente perte point 0 axe 2 (E2.9=0) |
| 10 | Spiral Attente Doigt avant E3,12=0 E3,13=1 S5,4=1 |
| 11 | Hélice Attente Doigt avant E3,12=0 E3,13=1 S5,4=1 |
| 12 | Attente coupe en avant: Entrées 3,11=1 et 3,10=0 Sortie 5,5=1. |
| 13 | Attente coupe en arrière: Entrées 3,10=0 et 3,11=1 Sortie 5,5=0. |
| 14 | Doigt arrière E3,12=1 E3,13=0 S5,4=0 |
| 15 | Doigt avant E3,12=0 E3,13=1 S5,4=1 |
| II | Utilisation (formation, programmation des pièces par opérateur, utilisation de la machine) |

| Symptômes (S) | B : la machine ne commence pas ou ne finit pas son cycle (elle reste en puissance) |
|----------------------|--|
| 16 | Détection rupture doigt de pliage |
| 17 | Compiler le programme : touche <F4> |
| 18 | Position orientation impossible:Corriger prog et Compiler |
| 19 | Coupe impossible faire une RAZ: axe 1 doigt -> a 90d en position arrière. |
| 20 | ATTENTION nb de boucles autorisée dans l'automate dépasse, vérifier programme en page F3. |
| 21 | Nb de pièces demandées atteint : remettre le compteur 0 à zéro ou augmenter la présélection. |
| 22 | Imbrication de boucles interdite |
| 23 | Graphe déjà actif : vérifier le programme et recompiler |
| 24 | Commande non reconnue : vérifier le programme, recompiler |
| 25 | Mode AUTO interdit: Porte non fermée (E1.1 = 0 si en marche S4,11 = 1) |
| 26 | Pliage impossible : rentrer la coupe E3, 10. |
| 27 | Enclenchement de la puissance toutes les 6 s maximum. |
| 28 | Mode AUTO interdit: Capot d'aménage ouvert (E0.15 = 0) |
| 29 | Attente départ Cycle et Marche Production |
| 30 | Attente drapeau, voir le programme. |
| 31 | Attente bit Entrée/Sortie, voir programme F5 et 'E'. |
| 32 | Axe 0:avance impossible coupe non prête: Effectuer un Cycle de Coupe (BP Coupe au pupitre). |
| 33 | Axe 0:avance impossible: Fermer l'aménage (E2.10=1). |
| 34 | Axe 0: ATTENTION: Fin de bobine dévidoir (E2.0 = 1). DCY en AUTO pour forcer avance. |
| 35 | Avancer le fil, faire une coupe: le fil n'est pas en position de démarrage. |
| 36 | C4 ou C5 impossible à exécuter: changer les paramètres d'accélération ou 1ère avance |
| 37 | Commande C2, C4 C5 Retour élastique : Graphe 11 ou problème programme |
| 38 | Attente Bp coupe <+ ou -> sur pupitre. |
| 39 | Attente Entrée programme : commande C1. Taper F5 et 'E' |
| 40 | Attente fin de temporisation commande C1 (paramètre nr 7) |
| 41 | Attente Entrée programme : commande SC. Taper F5 et 'E' |

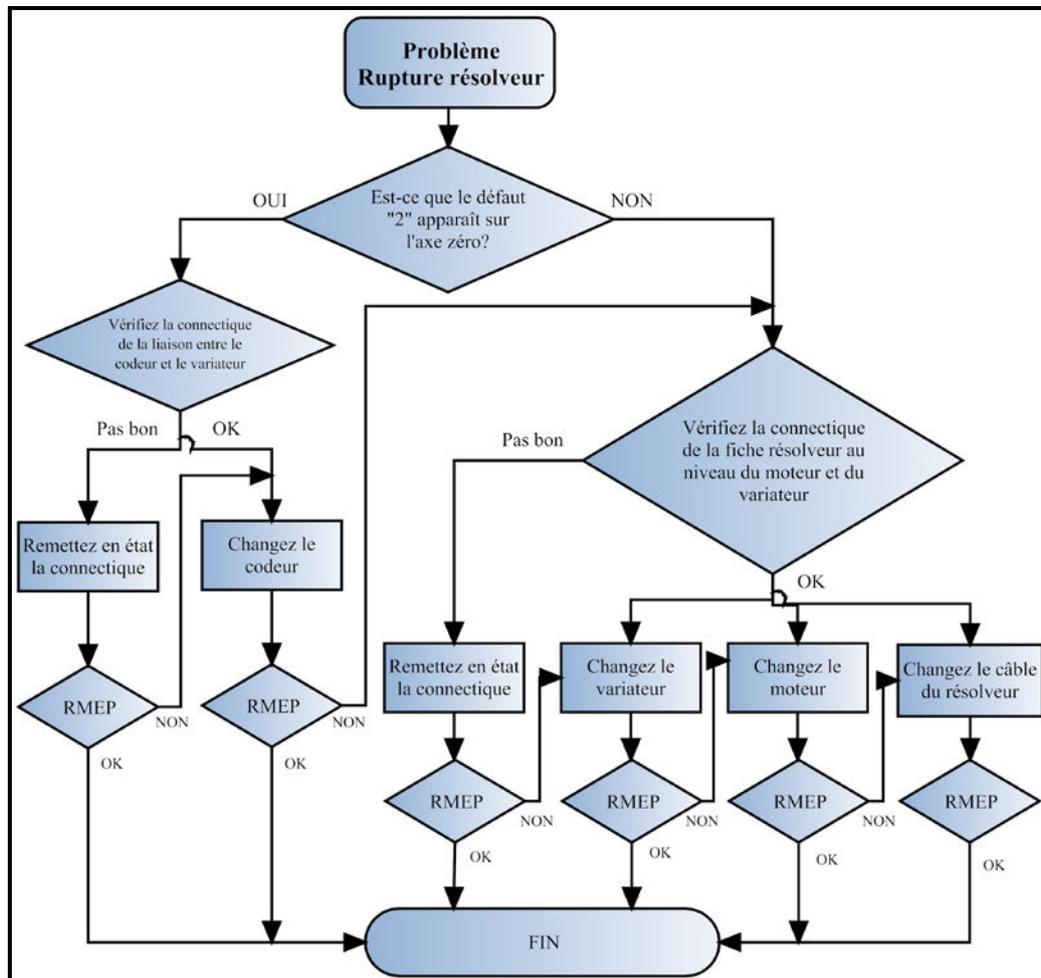
(B)

| Symptômes | C : La machine demande une remise à zéro (elle reste en puissance) |
|------------------|---|
| I | Utilisation (formation, programmation des pièces par opérateur, utilisation de la machine) |
| 1 | Départ Cycle impossible : RaZ non effectuée, Appuyer sur le Bp RAZ . |

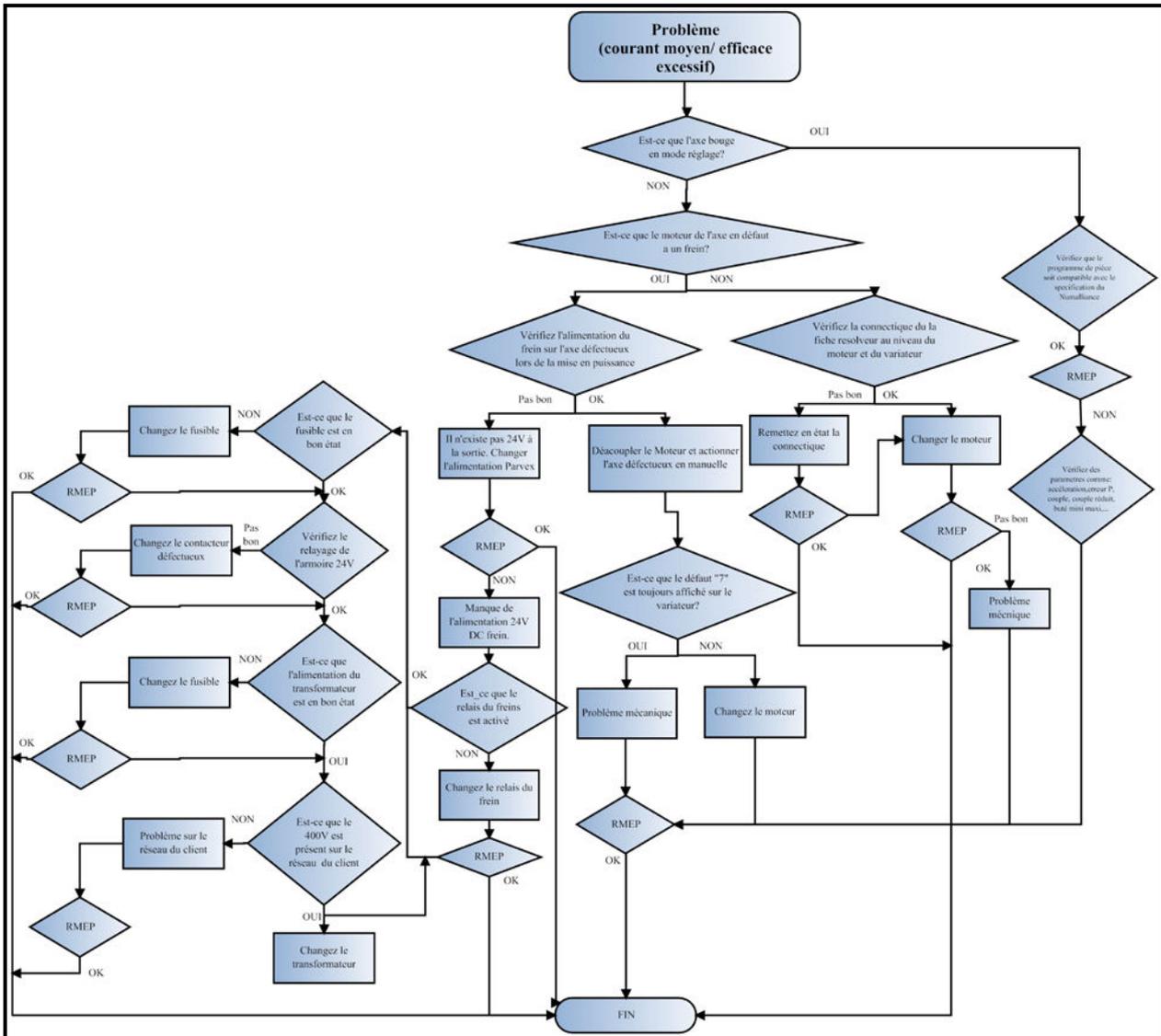
(C)

Annexe 5. Les protocoles de décisions des problèmes du variateur [Source : Notre recherche]

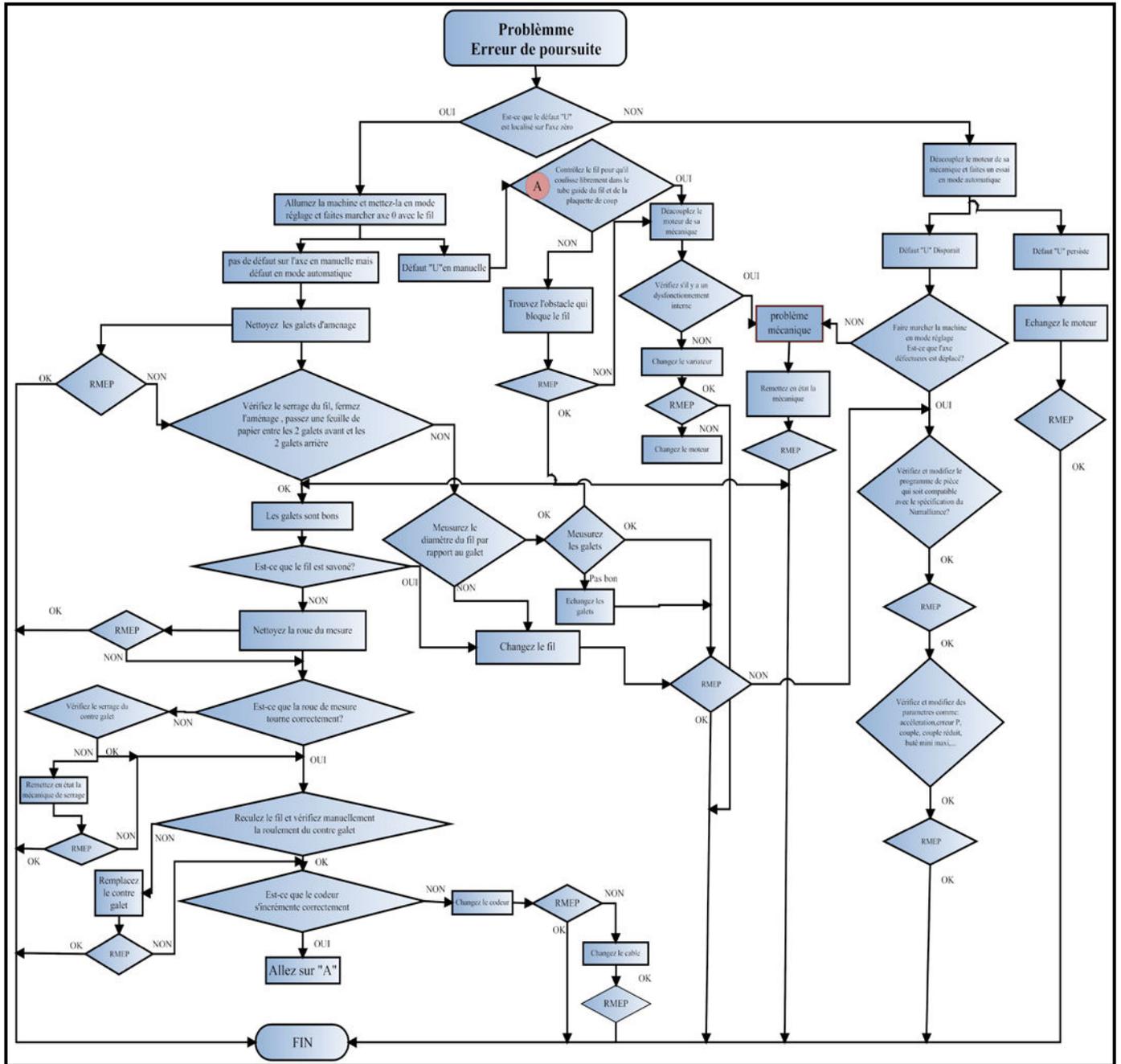
Problème rupture résolveur



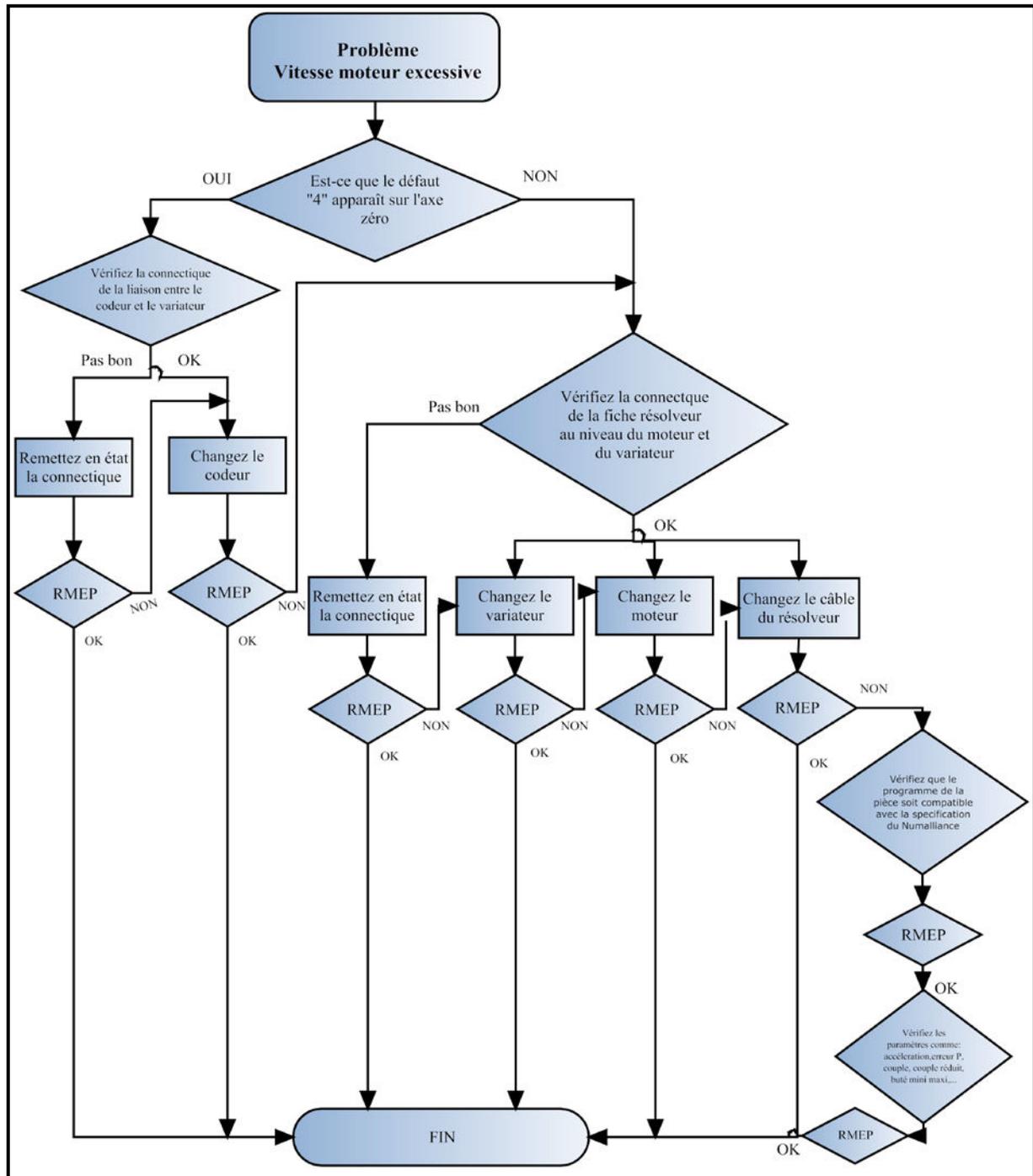
Problème courant moyen/efficace excessif



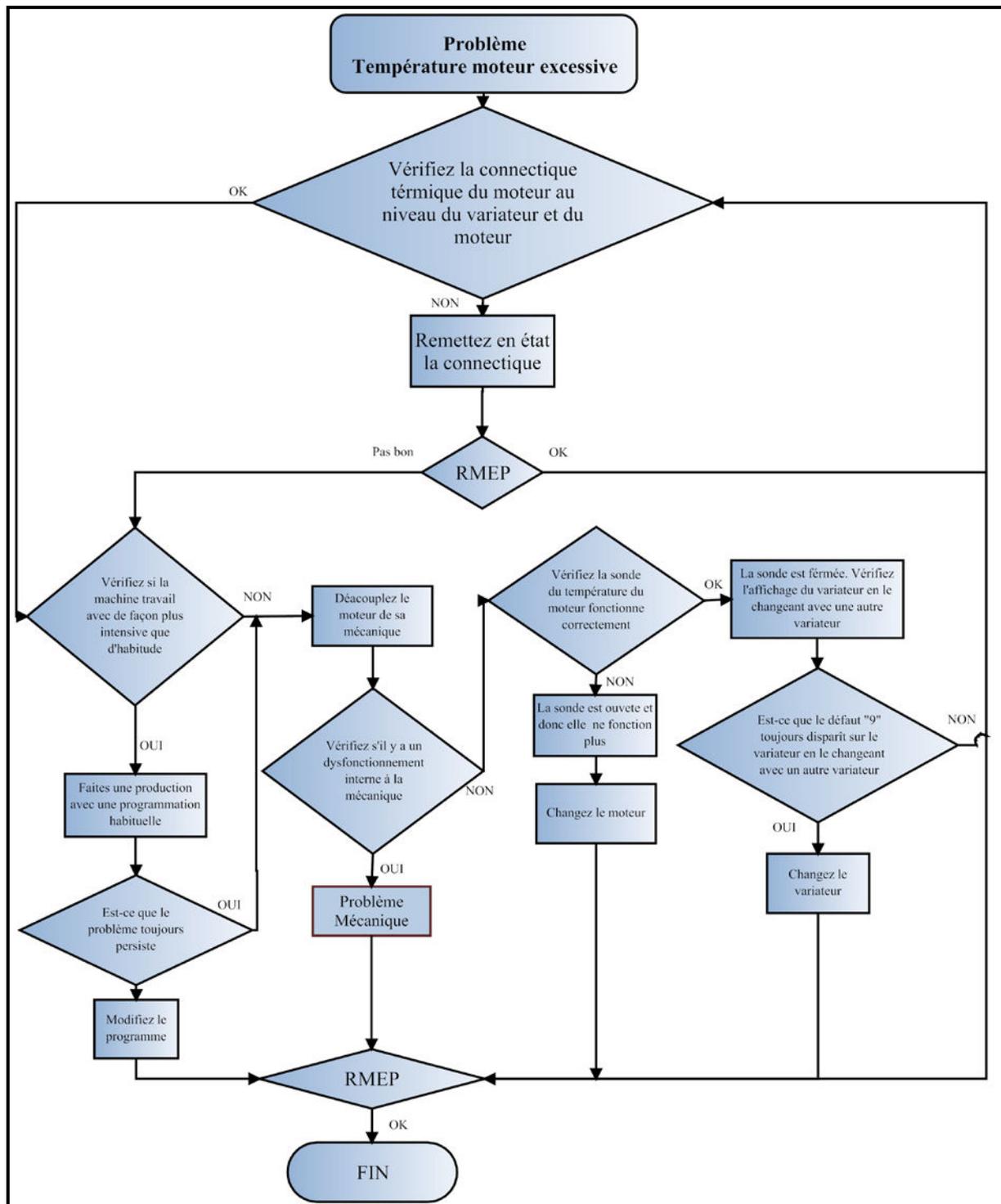
Problème erreur de poursuite



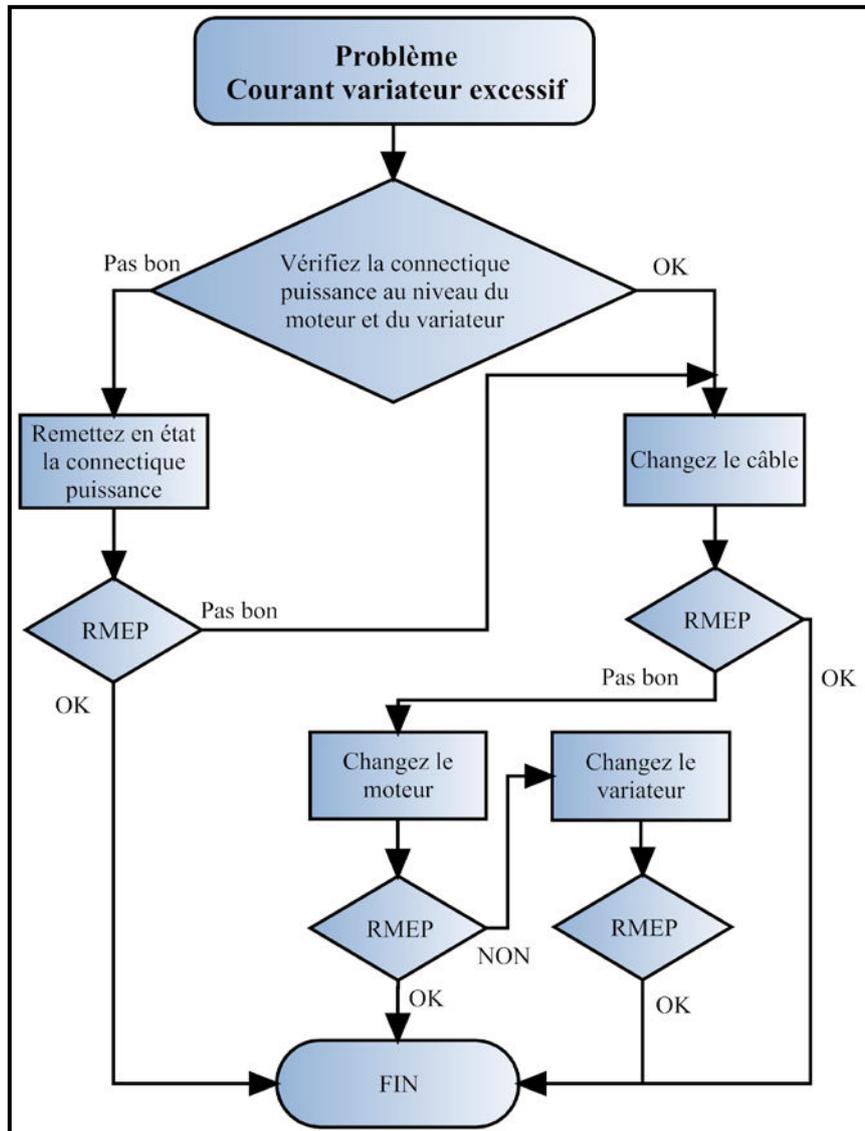
Problème vitesse moteur excessive



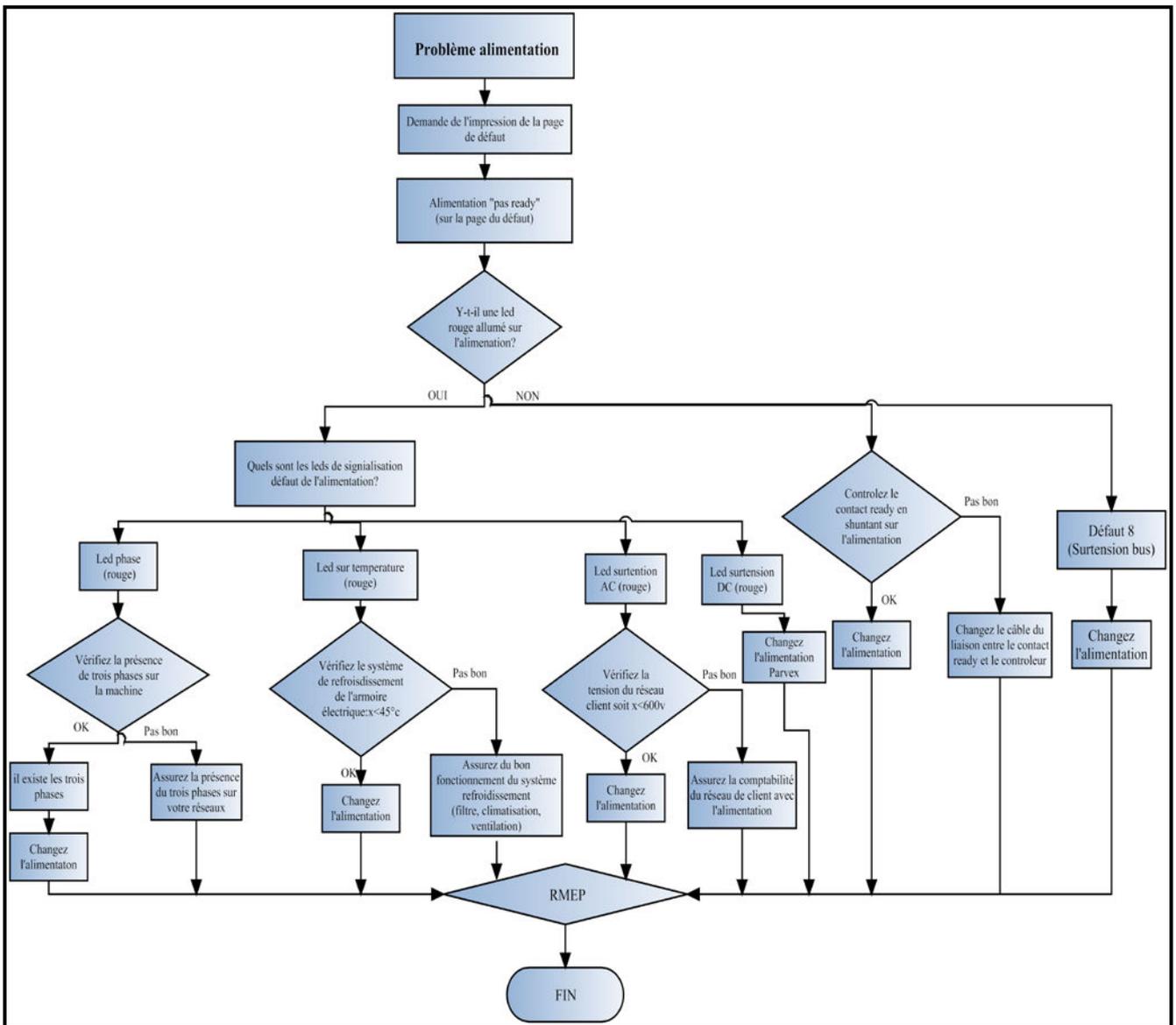
Problème température moteur excessive



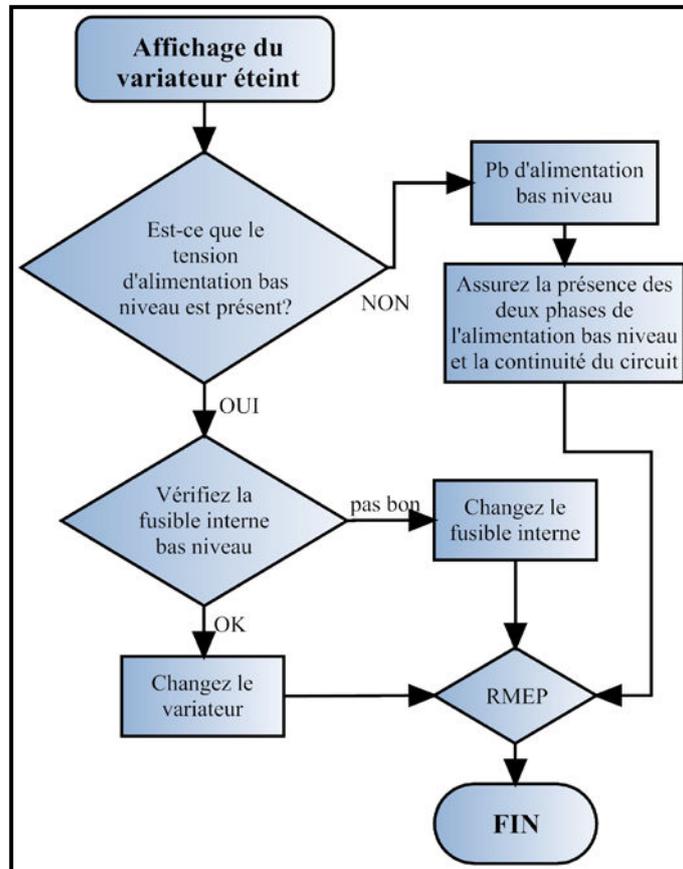
Problème courant variateur excessive



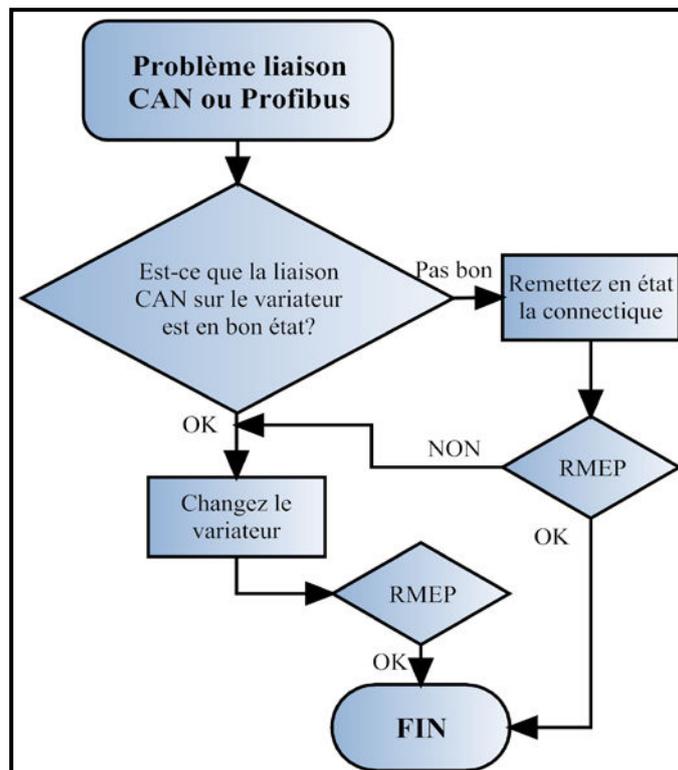
Problème alimentation



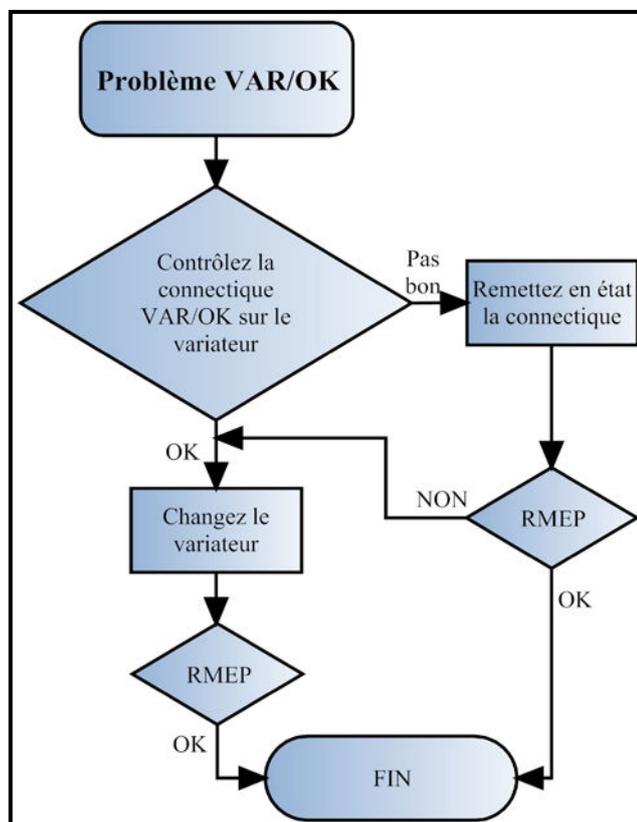
Affichage du variateur éteint



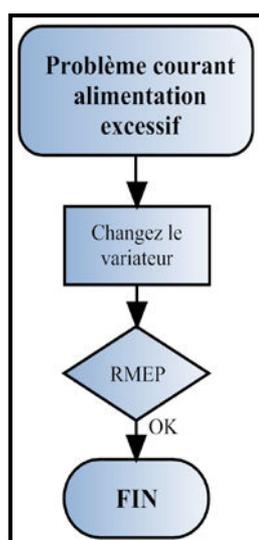
Problème liaison CAN ou Profibus



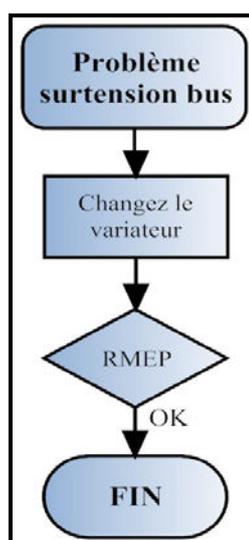
Problème VAR/OK



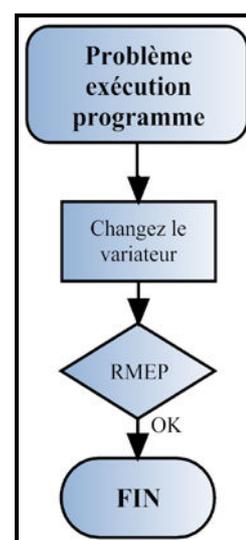
Problème courant alimentation excessif



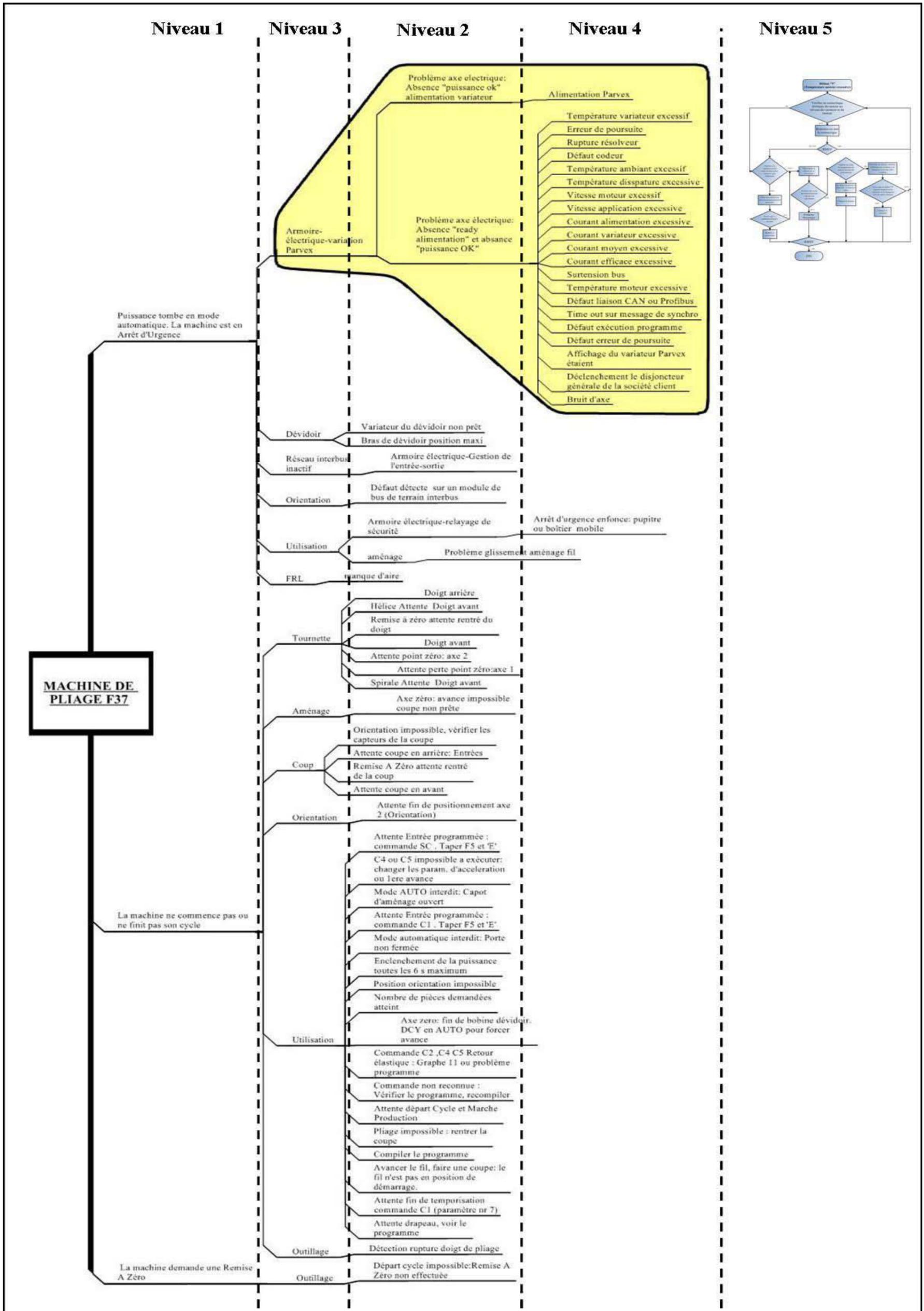
Problème surtension bus



Problème exécution programme



Annexe 6. Hiérarchisation des informations dans la base de cas [Source : notre recherche]



AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur Emmanuel CAILLAUD, Professeur, LGECO-INSA, Strasbourg

Monsieur Jean-Pierre BOURREY, Professeur, Ecole Centrale de Lille, Villeneuve d'Ascq

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Madame ARMAGHAN Negar

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,
une thèse intitulée :

**"Contribution à un système de retour d'expérience basé sur le raisonnement à partir de
cas conversationnel : application à la gestion des pannes de machines industrielles"**

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : « **Génie des systèmes industriels** »

Fait à Vandoeuvre, le 15 mai 2009

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT



NANCY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORET-DE-HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 5 4 5 0 1
VANDŒUVRE CEDEX

Contribution à un système de retour d'expérience basé sur le raisonnement à partir de cas conversationnel: Application à la gestion des pannes de machines industrielles

Résumé : Face à l'évolution technologique rapide des produits, l'innovation incrémentale des nouveaux produits, et la mobilité du personnel le plus expérimenté, les entreprises cherchent à formaliser et à capitaliser leurs expériences et les savoir-faire des acteurs d'entreprise en vue d'une réutilisation ultérieure. Afin de répondre à cette problématique, l'approche du raisonnement à partir de cas conversationnel (RàPCC) est une réponse potentielle à la question de la capitalisation et de la réutilisation des connaissances. Notre recherche s'intéresse aux méthodes permettant de piloter le retour d'expérience (RETEX) appliqué à la résolution de problèmes techniques. Notre méthodologie pour créer un système d'aide au diagnostic des pannes est divisée en quatre phases : la description d'événements, l'élaboration de l'ensemble des solutions apportées aux pannes, la mise en place d'une aide au diagnostic grâce aux arbres de défaillances et la mise en place d'un système informatique. Afin d'extraire les connaissances tacites et les formaliser, nous avons créé des protocoles de décision dans le but d'aider l'expert à résoudre un problème industriel. Nous avons donc proposé une formulation et l'élaboration de cas conversationnels dans le domaine du diagnostic. Ces cas doivent être stockés dans une base de cas. Afin de valider notre proposition méthodologique, nous avons réalisé la phase expérimentale dans une entreprise industrielle de l'Est de la France. Nous proposons finalement une maquette informatique conçue pour l'entreprise. Cette maquette permet de réaliser un diagnostic des pannes en créant des cas dans une base de cas pour une réutilisation ultérieure.

Mots-Clés : retour d'expérience, raisonnement à partir de cas, raisonnement à partir de cas conversationnel, diagnostic, arbre de défaillances, protocole de décision, connaissance tacite.

Contribution to an experience feedback system based on conversational case-based reasoning: Application in management of failure diagnostic procedures for industrial machines

Abstract: Faced with the fast technological development of products, incremental innovation of new products, and the mobility of their most experienced staff, companies are seeking to formalize and capitalize on the experiences and know-how of their personnel in order to reuse them later. To deal with these problems, the conversational case based reasoning (CCBR) approach is a potential answer to the question of capitalization and reuse of knowledge. Our research focuses on methods to manage experience feedback (EF). We are placed in the field of experience feedback applied to technical problem solving. Our methodology for creating aided failure diagnosis systems is divided into four phases: the events description, the development of all solutions to failures, the arrangement of a diagnostic aid through fault trees and setting up a computer system. We based our work on the fault tree approach in order to extract tacit knowledge and its formalization. Our objective was to create decision protocols in order to assist the expert in solving an industrial problem. Therefore, we have proposed a formulation and development of conversational cases in diagnosis. These cases must be memorised in a database of cases. To validate our proposal methodology, we have carried out the experimental phase in an industrial company in eastern France. This experiment allowed us to validate our work and highlight its advantages and limitations. Finally, we propose a computer model designed for the company. This model enables failure diagnosis by creating the case in a case base for later utilization.

Keywords: Experience feedback, case-based reasoning, conversational case based reasoning, diagnosis, decision tree, decision protocols, tacit knowledge.