

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université de Batna  
Faculté des Sciences

**Thèse**

*En vue de l'obtention du diplôme de*  
**Doctorat en Sciences en Informatique**

**Conception d'un modèle coopératif de support de la  
télémaintenance industrielle**

*Présentée Par*  
**Djalal HEDJAZI**

*Soutenue le 03 Juillet 2011*

*Devant le jury composé de :*

<i>Président</i>	<i>A. Bilami</i>	<i>Prof., Université de Batna</i>
<i>Rapporteur</i>	<i>A. Zidani</i>	<i>MCA., Université de Batna</i>
<i>Examineurs</i>	<i>M.K. Kholadi</i>	<i>MC-A., Université de Constantine</i>
	<i>M.C. Babahenini</i>	<i>MCA., Université de Biskra</i>
	<i>F. Cherif</i>	<i>MCA., Université de Biskra</i>

## Remerciements

Il serait ingrat de renier le fait qu'une thèse, reste malgré tout, une œuvre collective. La mienne est l'aboutissement de plusieurs années de travail, de patience et persévérance. Durant toutes ces années, j'ai été assisté et conseillé par plusieurs personnes, auxquelles je dois leurs adresser mes plus sincères remerciements.

C'est au Docteur *Abdelmadjid ZIDANI*, Maître de Conférences à l'Université Batna et que revient le mérite d'avoir dirigé ce travail. Il m'a offert d'excellentes idées et perspectives sur le travail tout au long de son évolution et n'a jamais cessé de me conseiller en me permettant de concrétiser mes idées librement. Qu'il trouve ici l'expression de mes vifs remerciements.

Je témoigne également toute ma reconnaissance au Docteur *Azzedine BILAMI*, Professeur à l'université Batna, pour l'honneur qu'il me fait de présider ce jury.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au Docteur *Med Khireddine KHOLADI*, Maître de Conférences à l'Université Mentouri de Constantine, pour avoir bien voulu juger ce travail et faire partie de mon jury de thèse.

Je remercie sincèrement le Docteur *Med Chaouki BABAHENINI*, Maître de Conférences à l'Université de Biskra, d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Par ailleurs, je témoigne toute ma sympathie au Docteur *Foudil CHERIF*, Maître de Conférences à l'Université de Biskra, d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Je voudrais également remercier mes amis, collègues et thésards, qui m'ont soutenu et encouragé.

Enfin mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Résumé

Aujourd'hui, il est unanimement reconnu que les Technologies de l'Information et de la Communication (*TIC*) jouent un rôle capital pour le soutien et l'assistance de la majorité des activités réalisées au sein des organisations. Particulièrement dans le secteur de maintenance industrielle qui fait l'objet de cette modeste contribution. Notre travail de recherche tente d'exploiter ces évolutions technologiques afin de faire face à la complexité croissante des équipements industriels qui ne cesse de s'accroître. Nous entendons ainsi répondre à la problématique de maintenance afin de permettre aux entreprises industrielles de réduire les délais d'inactivité de leurs équipements ainsi que les coûts associés.

Pour répondre objectivement aux besoins du processus de maintenance, nous nous appuyons sur les concepts fondamentaux du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (*TCAO* ou *Groupware*). Notre objectif est de fournir une plateforme de support des activités de maintenance permettant à plusieurs experts de collaborer à distance autour d'une même défaillance et générer ensemble une solution réparatrice. Par conséquent, notre contexte d'investigation s'inscrit dans un domaine impliquant principalement deux axes de recherches complètement hétérogènes. Le premier axe traite la problématique de télémaintenance industrielle qui aspire à tirer profit des *TIC* afin de réduire autant que possible le temps d'arrêt des équipements. Alors que le domaine du *Groupware*, permet d'analyser le processus de coopération dans les situations de travail effectives, afin de concevoir les outils de support adéquats.

Dans cette perspective, cette thèse présente les principes de base de modélisation et de conception d'un système informatique supportant la coopération dans le contexte de la télémaintenance industrielle. Ce système est caractérisé principalement par l'intégration de mécanismes nécessaires au support de la coopération, la coordination et l'interaction de groupe lors de l'exécution d'un projet de télémaintenance. Il permet à plusieurs experts de travailler simultanément et de façon coordonnée sur un même problème industriel. Ces experts, géographiquement dispersés, peuvent ainsi générer ensemble une solution définissant les différentes phases du processus de maintenance. Le système est fondé sur deux principaux composants, un gestionnaire de sessions de travail et un gestionnaire des activités de collaboration dédié au support de l'interaction de groupe.

Notre démarche repose sur la conception d'une architecture logicielle ouverte pour un environnement intégrant plusieurs applications fournissant l'assistance requise par les activités de télémaintenance industrielle. Par conséquent, nous avons opté pour une structure complètement modulaire afin de pouvoir à plus long terme, ajuster facilement le comportement global de l'environnement conformément aux exigences de ses usagers.

Enfin, pour capturer et diffuser les actions des différents experts dans l'espace de travail partagé, nous définissons un mécanisme de notification d'événements qui exploite le plan d'actions décrivant les phases du processus de réparation.

**Mots clés :** *Maintenance industrielle, Télémaintenance industrielle, Plateformes de télémaintenance industrielle, TCAO, Groupware, communication, coordination, Gestion des groupes, Architecture Client-serveur.*

## Abstract

To take advantages of technological evolutions notably the Information and Communication Technologies (ICT). Thus, in order to face the increasing complexity of the industrial equipments that do not stop increasing as well as the organizational changes and the staff's mobility, the industrial enterprises aim to reduce the inactivity times as well as the costs of nominal state restorations of their equipments, to increase the mobility of employees especially the maintenance experts. To answer this problematic, our objective is to propose a means of aid to the maintenance allowing several experts to remotely collaborate around a same failing in order to produce a repairing solution. Therefore, our research work appears in an area implicating mainly two research axes completely heterogeneous. The first axis treats the problematic of industrial tele-maintenance that aspire to take advantage of ITC in order to reduce the stop time equipments and to respect the short delays. The second baptized Computer-assisted Cooperative Work (CSCW) which has for objective to analyze the processes of cooperation in the final situations, notably the work situations, in the goal to conceive the systems assistant cooperation.

In this dialectics, this thesis presents the basis concepts of modeling and conception of a system which supports cooperation in the industrial tele-maintenance context. The main characteristic of this system resides in the integration of important concepts of cooperation, coordination and group interaction at the time of industrial tele-maintenance project execution. The system allows several experts to work simultaneously with a coordinated manner about a same industrial problem to produce a solution defining the maintenance process phases. It is founded on two main components; the first serves to organize the cooperation sessions as well as to manage the maintenance groups, the second, takes care of the management of the interaction, the coordination and the communication of the cooperative work.

Our approach consists firstly to conceive open software architecture for an integrated environment capable to add several applications providing the aid required by the industrial tele-maintenance activities. Consequently, we centered the conception of our system on a completely modular framework in order to allow easily adjusting the environment global behavior in accordance with the requirements of its users. Thus, to assure the transparency, this system exploits the Plan of Reparation Actions structure describing the repair process phases with an events notification mechanism in order to reproduce every participant's actions in the shared workspace.

**Keywords:** *Industrial Maintenance, Industrial Tele-maintenance, Industrial tele-maintenance platforms, Computer-supported collaborative work, Groupware, Communication, Coordination, Group Management, Client/Server.*

# Table des matières

<b>RESUME .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>4</b>
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>13</b>
1.1 INTRODUCTION .....	13
1.2 CONTEXTE DE TRAVAIL.....	14
1.3 CONTRIBUTIONS.....	15
1.4 ORGANISATION DE LA THESE .....	18
<b>CHAPITRE 1 : MAINTENANCE INDUSTRIELLE .....</b>	<b>20</b>
1.1 INTRODUCTION .....	20
1.2 MAINTENANCE INDUSTRIELLE .....	22
1.2.1 Définitions.....	22
1.2.2 Evolution de la fonction de maintenance.....	23
1.2.3 Stratégies de maintenance .....	25
Maintenance corrective.....	25
Maintenance préventive .....	26
Maintenance prévisionnelle .....	27
Maintenance proactive (MPR) .....	27
Maintenance améliorative .....	27
1.3 TELEMANTENANCE.....	28
1.3.1 Principe .....	28
1.3.2 Systèmes de télémaintenance.....	30
1.4 E-MAINTENANCE .....	32
1.4.1 Facteurs d'émergence .....	32
1.4.2 Principe .....	35
1.5 PLATEFORMES D'E-MAINTENANCE.....	37
1.5.1 Bilan des travaux actuels.....	40
1.6 CONCLUSION .....	42
<b>CHAPITRE 2 : TRAVAIL COOPERATIF ASSISTE PAR ORDINATEUR .....</b>	<b>44</b>
2.1 INTRODUCTION .....	44
2.2 CONCEPTS FONDAMENTAUX .....	46
2.2.1 Coopération.....	46
2.2.2 Coordination.....	47
2.2.3 Communication .....	47
2.3 GROUPWARE .....	48
2.3.1 Définitions.....	48
2.3.2 Avantages des Groupware.....	49
2.3.2.1 Abolition des contraintes spatio-temporelles .....	49
2.3.2.2 Parallélisation de communications et prise de décision rapide.....	49
2.3.2.3 Amélioration de la participation.....	49
2.3.2.4 Structuration des activités de groupe .....	50
2.3.2.5 Mémoire organisationnelle.....	50
2.3.3 Pluridisciplinarité des outils Groupware .....	50
2.3.3.1 Contexte des sciences humaines .....	51
2.3.3.2 Aspects informatiques.....	55
2.3.4 Taxonomies Groupware.....	56

2.3.4.1 Classification espace-temps.....	56
2.3.4.2 Classification Fonctionnelle.....	58
2.3.4.3 Classification conceptuelle .....	59
2.3.5 <i>Téléprésence dans les systèmes Groupware</i> .....	59
2.3.5.1 Conscience de groupe .....	60
2.3.5.2 Surcharge cognitive .....	61
2.3.6 <i>Développement des systèmes Groupware</i> .....	62
2.3.6.1 Problématique.....	63
2.3.6.2 Approches de développement .....	64
2.4 CONCLUSION .....	67
<b>CHAPITRE 3 : MODELISATION DE LA COOPERATION POUR LA TELEMANTENANCE INDUSTRIELLE.....</b>	<b>69</b>
3.1 INTRODUCTION .....	69
3.2 APPROCHE DE MODELISATION .....	70
3.2.1 <i>Notion de compétence</i> .....	70
3.2.2 <i>Processus d'élaboration d'expertise</i> .....	71
3.2.3 <i>Etude des acteurs</i> .....	73
3.2.3.1 Site à maintenir .....	75
3.2.3.2 Technicien de maintenance .....	76
3.2.3.3 Groupe d'experts coopérants .....	76
3.2.4 <i>Dimension utilisation</i> .....	78
3.2.4.1 Construction du groupe.....	80
3.2.4.2 Intégration des membres au groupe .....	80
3.2.4.3 Libération du groupe .....	81
3.2.5 <i>Dimension coopération</i> .....	81
3.2.6 <i>Dimension organisationnelle</i> .....	83
3.2.6.1 Rôles des experts.....	83
3.2.6.2 Modes de coopération.....	84
3.2.7 <i>Dimension coordination et conscience de groupe</i> .....	85
3.2.7.1 Participants présents en session.....	86
3.2.7.2 Artefacts partagés .....	87
3.2.7.3 Communication vocale .....	88
3.2.7.4 Mécanisme de Télé-désignation.....	91
3.2.7.5 Notification des événements .....	92
3.2.7.6 Vote électronique .....	93
3.3 CONCLUSION .....	94
<b>CHAPITRE 4 : CONCEPTION ET IMPLEMENTATION DU MODELE DE COOPERATION .....</b>	<b>95</b>
4.1 INTRODUCTION .....	95
4.2 MODELE CLIENT-SERVEUR.....	96
4.3 IMPLEMENTATION DU CENTRE DE COMPETENCE .....	97
4.3.1 <i>Architecture logicielle</i> .....	97
4.3.1.1 Gestion des groupes .....	98
4.3.1.2 Gestion des pannes.....	99
4.3.1.3 Interface .....	99
4.3.2 <i>Outils de développement utilisés</i> .....	100
4.3.2.1 Langage PHP.....	101
4.3.2.2 Serveur http .....	103
4.3.2.3 MySQL .....	103
4.4 IMPLEMENTATION DU GROUPWARE GROUPMAIN.....	104
4.4.1 <i>Architecture logicielle</i> .....	104
4.4.1.1 Contrôleur de dialogue .....	107
4.4.1.2 Gestion de sessions.....	109
4.4.1.3 Coordination .....	109
4.4.1.4 Communication .....	110

4.4.1.5	Gestion du PRA .....	111
4.4.1.6	Notification des événements .....	114
4.4.1.7	Données partagées.....	115
4.4.2	<i>Solutions technologiques exploitées</i> .....	116
4.4.2.1	Langage Java .....	116
4.4.2.2	Java-RMI .....	117
4.4.2.3	API-JMF .....	117
4.5	CONCLUSION .....	118
<b>CHAPITRE 5 : PRESENTATION DU SYSTEME CSITM.....</b>		<b>120</b>
5.1	INTRODUCTION .....	120
5.2	PRESENTATION DU CENTRE DE COMPETENCES .....	121
5.2.1	<i>Espace de travail de l'administrateur</i> .....	123
5.2.2	<i>Espace de travail des experts</i> .....	123
5.2.3	<i>Espace de travail des techniciens</i> .....	124
5.3	PRESENTATION DE GROUPMAIN.....	125
5.3.1	<i>Fonctionnalités de base</i> .....	126
5.3.1.1	Lancement du serveur.....	126
5.3.1.2	Connexion des clients.....	127
5.3.1.3	Interface principale de GroupMain.....	128
5.3.1.4	Elaboration du PRA.....	129
5.3.2	<i>Rétroaction de groupe</i> .....	134
5.3.2.1	Informations sur participants.....	135
5.3.2.2	Engagements et notifications des événements.....	136
5.3.2.3	Outil de vote électronique .....	138
5.4	CONCLUSION .....	141
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>143</b>
1.	BILAN DES TRAVAUX ET CONTRIBUTIONS DE LA THESE .....	144
2.	ETAT ACTUEL DE DEVELOPPEMENT .....	146
3.	PROTOCOLE D'EVALUATION .....	146
4.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	147
<b>REFERENCES .....</b>		<b>149</b>
<b>ANNEXES .....</b>		<b>165</b>
<b>ANNEXE 1. NOS PUBLICATIONS.....</b>		<b>165</b>
1.	REVUES INTERNATIONALES .....	165
2.	CONFERENCES INTERNATIONALE.....	165
3.	CONFERENCES NATIONALE.....	165
4.	JOURNEES SCIENTIFIQUES.....	165
<b>ANNEXE 2. PARTIES DU CODE SOURCE DU CSITM.....</b>		<b>166</b>
1.	PARTIE DU CODE SOURCE DU MODULE <i>CVOTE.JAVA</i> .....	166

## Liste des figures

<b>Fig 1.1.</b>	Evolution de la fonction maintenance.....	23
<b>Fig 1.2.</b>	Types de maintenance .....	25
<b>Fig 1.3.</b>	Effet d'une bonne maintenance préventive [BEN 05].....	27
<b>Fig 1.4.</b>	Télémaintenance Vs Maintenance [TAR 05].....	28
<b>Fig 1.5.</b>	Schéma générique de la télémaintenance .....	29
<b>Fig 1.6.</b>	Taux de succès de la maintenance à distance.....	30
<b>Fig 1.7.</b>	Architecture de base d'un système de télémaintenance.....	31
<b>Fig 1.8.</b>	E-maintenance Vs Télémaintenance [TAR 05] .....	35
<b>Fig 1.9.</b>	Schéma générique de l'e-maintenance .....	36
<b>Fig 1.10.</b>	Architecture d'un système d'e-maintenance [RAS 07] .....	37
<b>Fig 2.1.</b>	Pluridisciplinarité de systèmes Groupware .....	51
<b>Fig 2.2.</b>	Matrice espace-temps .....	57
<b>Fig 2.3.</b>	Trèfle fonctionnel des systèmes Groupware .....	58
<b>Fig 2.4.</b>	Univers conceptuels de la coopération .....	59
<b>Fig 3.1.</b>	Processus d'élaboration d'expertise .....	72
<b>Fig 3.2.</b>	Architecture de CSITM.....	75
<b>Fig 3.3.</b>	Scénario d'utilisation .....	79
<b>Fig 3.4.</b>	Vue globale d'un plan d'actions.....	80
<b>Fig 3.5.</b>	Structure logique du PRA (LSPRA).....	88
<b>Fig 3.6.</b>	Mécanismes de télé-désignation des experts participants .....	92
<b>Fig 3.7.</b>	Notification des événements .....	93
<b>Fig 4.1.</b>	Modèle client-serveur .....	96
<b>Fig 4.2.</b>	Architecture logicielle du centre de compétences .....	98
<b>Fig 4.3.</b>	Architecture client-serveur via PHP.....	102
<b>Fig 4.4.</b>	Diagramme d'importance d'utilisation des serveurs web les plus utilisés.....	103
<b>Fig 4.5.</b>	Architectures des systèmes Groupware.....	105
<b>Fig 4.6.</b>	Architecture logicielle de GroupMain.....	107
<b>Fig 4.7.</b>	Niveau interface - Structure logique d'un PRA .....	112
<b>Fig 4.8.</b>	Architecture de base de l'API-JMF .....	118

<b>Fig 5.1.</b>	Page d'accueil du centre de compétence .....	122
<b>Fig 5.2.</b>	Visualisation des experts participants à une session en cours .....	124
<b>Fig 5.3.</b>	Déclaration d'une nouvelle panne.....	125
<b>Fig 5.4.</b>	Fenêtre de connexion coté serveur.....	127
<b>Fig 5.5.</b>	Fenêtre de connexion coté client .....	128
<b>Fig 5.6.</b>	Fenêtre principale de GroupMain.....	129
<b>Fig 5.7.</b>	Niveau Interface - Vue globale d'un PRA .....	131
<b>Fig 5.8.</b>	Création d'un nouveau PRA.....	132
<b>Fig 5.9.</b>	Introduction des informations structurelles du PRA.....	133
<b>Fig 5.10.</b>	Accès en mode élaboration à une phase .....	134
<b>Fig 5.11.</b>	Informations sur les experts affectés à une phase .....	136
<b>Fig 5.12.</b>	Engagements des participants.....	137
<b>Fig 5.13.</b>	Notification des événements .....	138
<b>Fig 5.14.</b>	Préparation du vote par le coordinateur.....	139
<b>Fig 5.15.</b>	Fenêtre du vote chez les experts participants .....	140
<b>Fig 5.16.</b>	Fenêtre des résultats du vote affichée aux experts.....	141

## Liste des tables

**Table 3.1.** Facteurs intéressés par la transparence au sein de GroupMain..... 86

## Liste des abréviations et des sigles

<b>AFNOR</b>	Association Française de NORmalisation
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>CASIP</b>	Computer Aided Safety and Industrial Productivity
<b>CHHM</b>	Communication Homme-Homme Médiatisée
<b>CSCW</b>	Computer Supported Cooperative Work
<b>CSITM</b>	Collaborative System for Industrial Tele-Maintenance
<b>GMAO</b>	Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur
<b>GroupMain</b>	Group of Maintenance
<b>IA</b>	Intelligence Artificielle
<b>IHM</b>	Interface Homme-Machine
<b>ITEA</b>	Information Technology for European Advancement
<b>JMF</b>	Java Media Framework
<b>JRMP</b>	Java Remote Method Protocol
<b>JVM</b>	Java Virtual Machine
<b>LAMP</b>	Linux Apache MySQL PHP
<b>MIMOSA</b>	Machinery Information Management Open System Alliance
<b>MPC</b>	Maintenance Préventive Conditionnelle
<b>MPR</b>	Maintenance PRoactive
<b>MPS</b>	Maintenance Préventive Systématique
<b>NTIC</b>	New Technologies of Information and Communication
<b>OMG</b>	Object Management Group
<b>PRA</b>	Plan of Reparation Actions
<b>RMI</b>	Remote Method Invocation
<b>RRL</b>	Remote Reference Layer
<b>RSITIC</b>	Réalisation d'un Système Informatique pour le support de la Télémaintenance Industrielle Coopérative
<b>RTP</b>	Reel Time Protocol
<b>SGBD</b>	Système de Gestion des Bases de Données
<b>SMA</b>	Système Multi Agents

<b>TCAO</b>	Travail Coopératif Assisté par Ordinateur
<b>TELMA</b>	TELéMAintenance
<b>TEMIC</b>	TElé-Maintenance Industrielle Coopérative
<b>TIC</b>	Technologies of Information and Communication
<b>WAMP</b>	Windows Apache MySQL PHP
<b>WYSIWIS</b>	What You See Is What I See

# Introduction générale

## 1.1 Introduction

Les problèmes de maintenance des installations industrielles sont souvent relégués au second plan face aux impératifs impliqués par le souci de la production. De nos jours, avec les avancées technologiques dans le domaine de l'information et de la communication (*TIC*), les entreprises industrielles souhaitent en tirer profit pour accélérer les interventions des spécialistes de maintenance sur les sites et réduire le temps d'inactivité de leurs équipements. Ceci permet d'envisager de les maintenir à distance sans disposer nécessairement de personnel qualifié localement sur le site à réparer. Les interventions peuvent donc être plus rapides et un personnel qualifié peut apporter une aide effective depuis pratiquement n'importe quel endroit. Ainsi, la télémaintenance appuyée au travers la technologie peut s'avérer décisive en termes de coûts et de qualité du diagnostic de pannes.

Ainsi notre travail de recherche dans le contexte industriel constitue une tentative pour répondre objectivement aux préoccupations actuelles des entreprises en termes de maintenance de leurs équipements. En effet, les tendances actuelles semblent toutes indiquer que les organisations industrielles délaisseront définitivement les structures hiérarchiques verticales et finiront par adopter un mode organisationnel à base de petites équipes coopérantes et efficaces. Par conséquent, nous pensons que les systèmes de télémaintenance industrielle ne doivent plus se contenter de fournir l'assistance nécessaire à une seule personne pour maintenir un équipement, mais plutôt de centrer leurs efforts autour des groupes. En effet, les groupes constituent une base pour toute organisation et permettent d'accomplir des tâches irréalisables par une seule personne. De plus, nous assistons aujourd'hui à l'émergence de nouveaux équipements de plus en plus sophistiqués dont la maintenance requiert l'intervention de plusieurs experts de diverses disciplines. La coopération de ces experts semble donc un comportement naturel dans une tâche de maintenance.

Au cours d'une tâche de télémaintenance plusieurs experts géographiquement distants, peuvent être impliqués dans le processus de réparation des pannes et dégradations industrielles. En conséquence, la coopération permet de bénéficier de différents points de vue et de différentes méthodes de résolution. Cette coopération constitue sans doute un facteur d'efficacité pour les organisations industrielles.

C'est dans cette perspective que nous situons le travail de recherche de cette thèse. Nous visons à inscrire nos contributions dans le domaine de la télémaintenance industrielle à travers la génération de nouvelles situations de travail en prenant en compte les aspects de *Coopération*, de *Coordination* et de *Communication* entre les membres d'un groupe d'experts travaillant ensemble sur un même problème industriel au sein d'un espace de travail partagé. Comme pour toute application Groupware, nous accordons une importance extrême au concept de transparence (*Rétroaction de Groupe*) afin de maintenir cohérente la mémoire collective des experts impliqués.

## 1.2 Contexte de travail

Dans les pays en voie de développement telle que l'Algérie, les défaillances des équipements industriels posent de sérieux problèmes aux entreprises et entravent considérablement leur bon fonctionnement. Il s'agit là, d'un constat qui ne s'explique pas uniquement par le fait du vieillissement du parc industriel bâti depuis les années 70, mais concerne aussi les équipements récemment acquis. En effet, l'étude que nous avons menée sur cette question pertinente a révélé diverses raisons qu'il convient d'observer minutieusement. Il faut d'abord signaler les départs massifs d'agents qualifiés à la retraite sans asseoir de stratégie de formation afin de garantir la relève. Ensuite la gestion de ces entreprises a souvent relégué au second plan les tâches de maintenance, pourtant nécessaires au profit du processus de production. De plus, nous assistons actuellement à l'émergence sur le marché d'équipements industriels de plus en plus sophistiqués et dont la maintenance reste une tâche extrêmement délicate.

Partant de ce constat, nous avons centré notre recherche autour des technologies de l'information et de la communication, afin de situer leur apport dans le contexte de la maintenance industrielle. Notamment en termes d'expertise à distance, de formation et d'assistance. La génération de nouvelles solutions au travers de ces technologies aura sans aucun doute un impact direct sur le processus de maintenance de façon globale et permettra de rentabiliser de manière efficace les équipements exploités. Ainsi, ce modeste travail vise à répondre objectivement aux soucis des entreprises industrielles algériennes et leur permettre de tirer profit des *TIC*, notamment dans le contexte de maintenance afin de réduire le temps d'inactivité des équipements. Dans cette perspective, il faut préciser que les entreprises Algériennes doivent s'engager

rapidement dans cette voie sans aucune réticence car ces supports technologiques seront rapidement amortis et rentabilisés par la suite. Elles doivent également prendre conscience que les stratégies de maintenance ont évolué vers de nouvelles formes de travail permettant l'accès et la maintenance à distance des équipements industriels. Comme par exemple la *Télemaintenance*, qui permet d'assurer, à distance, la maintenance d'une unité fonctionnelle via un pont technologique par un centre spécialisé.

### 1.3 Contributions

Notre démarche part donc d'une base fondée sur le concept de télémaintenance afin de permettre aux entreprises Algériennes de tirer profit de l'expertise distante. Nous projetons aussi d'enrichir significativement le processus de télémaintenance au travers des techniques Groupware, qui constituent un point central de notre travail. En effet, notre stratégie centrée autour des techniques Groupware, nous permettra de remédier aux carences en termes de personnels qualifiés dont souffrent les entreprises Algériennes. Notamment en permettant aux techniciens locaux de prendre part aux activités de maintenance au sein d'un espace de travail partagé et bénéficier de l'expertise de personnes plus expérimentées. Par conséquent, notre travail repose sur la conception d'un modèle coopératif dédié au support des activités de télémaintenance industrielle. Ainsi, nous visons non seulement à permettre à l'expert d'accomplir ses tâches de maintenance à distance, mais aussi de les faire en coopération avec d'autres experts.

Notre contribution s'appuie donc sur la mise à la disposition des experts et des techniciens de maintenance les mécanismes appropriés supportant la coopération autour d'une même défaillance industrielle. L'accent est singulièrement mis sur les moyens de communication, de coordination, de négociation et de conscience de groupe les plus adaptés. Nous pensons que notre contribution permettra d'assurer, entre autres, la disponibilité, la mobilité, le rendement, la qualité, et réduire significativement les coûts occasionnés par les défaillances et l'indisponibilité des installations industrielles.

Le point de départ de notre travail de recherche a été consacré à l'étude du processus coopératif de télémaintenance des installations industrielles. Le travail accompli a révélé en fait, que ce processus implique en général deux ou plusieurs experts qui travaillent ensemble sur une même panne. Il se compose de plusieurs phases souvent

cycliques impliquant la collecte d'informations (historique de fonctionnement, notes, etc.), le diagnostic et la proposition des solutions appropriées. Durant chacune de ces phases, les experts participants peuvent communiquer et interagir de manière synchrone sur des objets partagés (*artefacts*). Ils peuvent également interagir de manière asynchrone et réaliser des activités à des moments différents. Par conséquent, la solution de support adéquate que nous préconisons devra combiner ces deux stratégies de travail et permettre aux usagers de basculer d'un mode à l'autre naturellement sans aucune contrainte.

En situation réelle de maintenance, les experts interagissent sans cesse et tentent de construire un diagnostic ensemble. Par conséquent, le support d'interaction et de coopération que nous projetons de fournir aux experts, vise essentiellement à leur permettre de partager leurs différents points de vue et combiner différentes méthodes de réparation. Nous pensons que cette démarche constitue un facteur de productivité pour la télémaintenance. Suivant ce principe, nos outils coopératifs de support doivent répondre aux besoins de plus en plus pressants des entreprises afin de leur permettre de réunir virtuellement plusieurs personnes avec différents domaines d'expertise autour d'un même problème industriel. Ainsi, le fait de centrer l'intérêt sur le processus coopératif de maintenance pour développer les outils de support appropriés est motivé par notre souci de fournir une réponse technologique idéale pour satisfaire aux besoins des activités collectives de télémaintenance industrielle.

Conscients que l'un des problèmes cruciaux de la télémaintenance coopérative réside dans la disponibilité des différents experts concernés. Ainsi que les difficultés rencontrées pour les réunir physiquement dans un même lieu pour réparer des équipements défectueux. Notre contribution implique des réflexions essentiellement centrées sur la modélisation et la mise en œuvre d'un système définissant un espace de travail partagé et supportant la communication, la coopération, la coordination, l'organisation des sessions de travail de groupe, l'échange du savoir et le partage du savoir-faire dans le contexte de la maintenance industrielle.

Prenant en considération ces constatations, nous avons conçu et développé un prototype de support de télémaintenance coopérative *CSITM*<sup>1</sup>. Ce système permet à

---

<sup>1</sup> CSITM est une abréviation de « Collaborative System for Industrial Tele-Maintenance »

plusieurs experts de travailler simultanément et de façon coordonnée sur un même problème et générer un plan d'actions de réparation (Plan of Reparation Action : *PRA*) définissant les différentes phases du processus de réparation. *CSITM* est fondé sur deux principaux composants, le premier appelé *Gestionnaire du Centre de Compétences* (*GCC*) est dédié à l'organisation et la gestion des sessions de coopération et la gestion des groupes d'experts. Tandis que le deuxième composant appelé *GroupMain*<sup>2</sup>, est chargé de la gestion de l'interaction, la coordination et la communication entre les différents experts impliqués dans le processus de maintenance.

Le composant *GCC* est conçu selon une configuration logicielle reposant sur le principe d'une architecture *Client-Serveur*. Il est composé d'un ensemble d'outils conviviaux, qui sont caractérisés par leur facilité d'usage. Notamment, pour une catégorie d'utilisateurs bien ciblés, à savoir : les experts qui traitent le problème industriel, les administrateurs qui configurent le système et les techniciens locaux qui interagissent régulièrement avec le centre de compétences.

L'outil coopératif *GroupMain* est fondé sur deux principaux modes d'interaction (chap. 3) à travers lesquels les experts peuvent générer individuellement ou collectivement un *PRA*. Pour développer le support de partage et faciliter le contrôle de la concurrence, le *PRA* partagé est structuré en phases. Ces phases représentent les différentes étapes du diagnostic de réparation établi, sur lesquelles les experts participants interviennent avec des rôles bien définis. L'attribution de ces rôles leur permet de développer, de consulter et de suivre l'évolution de phases spécifiques. Ainsi, *GroupMain* repose sur une architecture à niveaux qui est constituée d'objets, prenant en compte la gestion des ressources, ainsi que les fonctionnalités de communication, de coordination et de partage des informations. Pour gérer les accès concurrents des différents experts aux différentes phases du *PRA*, une stratégie à base de *blocages souples*<sup>3</sup> est adoptée. Cette stratégie ne permet qu'à un seul expert de modifier une phase du plan à un instant donné. L'intérêt principal de *GroupMain* concerne la collecte et la diffusion des événements générés à travers les interventions des différents participants sur le *PRA* partagé. Ceci est facilité par l'exploitation de la structure du plan d'action et l'utilisation du mécanisme de notification développé.

---

<sup>2</sup> *GroupMain* est une abréviation des deux mots « Groupe » et « Maintenance »

<sup>3</sup> Les experts peuvent consulter une phase verrouillée en attendant de recevoir les mises à jour.

Cette démarche repose sur l'extension progressive du noyau du système à travers l'intégration de nouveaux composants devant fournir l'assistance requise par un groupe d'experts en situation de télémaintenance. Au niveau technique, nous avons implémenté les outils retenus essentiellement avec les langages *Java* et *PHP*, qui sont caractérisés par leur prédisposition au développement des applications distribuées.

## 1.4 Organisation de la thèse

L'objectif de notre travail est la modélisation du processus de télémaintenance coopérative afin de développer les outils de supports appropriés. Cette thèse est organisée de manière à refléter au mieux notre apport dans un contexte dédié au support des activités de maintenance coopérative. Les chapitres qui suivent ce chapitre introductif décrivent la modélisation et le prototypage des outils que nous avons conçus en spécifiant leurs caractéristiques conformément aux besoins du processus de maintenance industrielle.

Le Chapitre 1 : *Maintenance industrielle*, est dédié à l'étude de la notion de maintenance industrielle et tente de fournir un aperçu général sur le domaine. Nous nous intéressons ensuite à l'apport des nouvelles technologies ainsi que les progrès considérables accomplis dans le domaine de la maintenance, en l'occurrence les concepts de *Télémaintenance* et *E-Maintenance*. Nous considérons ensuite, les principales plateformes développées pour le support de l'e-maintenance. Enfin, Nous concluons ce chapitre par une analyse critique de ces différentes plateformes.

Le chapitre 2 : *Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur*, aborde le domaine du Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO). Nous commençons par une définition et un rappel des caractéristiques fondamentales associées, avant de centrer notre attention sur les différentes classifications des systèmes Groupware. Nous étudions ensuite le concept de *Téléprésence* qui s'appuie essentiellement sur la notion de *Conscience de groupe*. Enfin, la dernière partie de ce chapitre est entièrement consacrée à l'étude du développement des systèmes Groupware. Nous y décrivons la complexité spécifique impliquée par le développement des outils de support des activités des groupes.

Le chapitre 3 : *Modélisation de la coopération pour la télémaintenance industrielle*, explicite notre approche de modélisation des supports des activités de maintenance coopérative. Il expose en premier lieu le processus d'acquisition d'expertise et traite

ensuite le modèle coopératif conçu en tenant compte de plusieurs dimensions à savoir : l'organisation, la coopération, la coordination et la conscience de groupe.

Le chapitre 4 : *Implémentation du modèle de coopération*, tente d'explicitier les différents choix techniques adoptés pour l'implémentation du modèle conçu. Nous y présentons l'architecture logicielle retenue en explicitant les différents éléments qui la composent.

Le chapitre 5 : *Présentation du système CSITM*, détaille les caractéristiques de notre système. Nous tentons particulièrement de montrer son aptitude au support des activités de maintenance industrielle dans un contexte Groupware. Afin de motiver objectivement les choix qui ont été adoptés, un scénario d'usage est présenté à travers l'illustration des différentes vues d'interface présentées aux experts participants.

Enfin, nous concluons cette thèse en présentant les conclusions auxquelles nous avons abouties, ainsi que les perspectives qui s'ouvrent à notre travail de recherche afin de dégager les directions à suivre en perspective de compléter notre travail, de l'affiner davantage ou d'adapter les composants développés conformément aux besoins dictés par le processus de maintenance industrielle coopérative.

La partie annexe qui vient après présente quelques détails relevant de l'implémentation des composants mis en œuvre.

# Chapitre 1 : Maintenance industrielle

## 1.1 Introduction

Aujourd'hui, il est unanimement reconnu dans le contexte du secteur industriel que la fonction de maintenance, dont la vocation est d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est désormais, une des fonctions stratégiques dans les entreprises. Cependant, les clients ont eux aussi changé dans le sens où, ils exigent des produits de haute qualité, des livraisons rapides, tout cela avec des coûts raisonnables. Sous cette charge, les industries sont contraintes de progresser de façon régulière sur plusieurs niveaux, notamment le coût de revient, la qualité du produit et les délais de livraison.

Bien que ces trois facteurs : coût, qualité et délai soient usuellement perfectionnistes dans la plupart des manufactures, leur conséquence relative varie d'une entreprise à une autre. Par exemple, les usines de fabrication d'aliments dépendent essentiellement du rendement des instruments de production. Les ateliers de fabrication de véhicules, de montres, d'accessoires de garnitures, etc., tiennent à la qualité de leurs produits pour garder leur image de marque. Les industries de produits de haute technologie (ordinateurs, télévisions, caméras) quant à elles, se préoccupent surtout d'accroître la rapidité d'arrivée de leurs produits sur le marché.

Ainsi, les enjeux socio-économiques croissants sont liés aux impératifs de sécurité humaine et matérielle, aux nécessités de protection de l'environnement et de réduction des nuisances, et, naturellement, aux gains de productivité sur des systèmes de production. Cela place les problèmes de sûreté de fonctionnement au centre des préoccupations liées à l'optimisation des processus industriels.

Pour faire face à tous ces impératifs, les entreprises tentent de préserver leurs matériels de confection en état de bon fonctionnement et dans les conditions de sûreté adéquates. La maintenance industrielle apporte également une contribution primordiale en termes de bon fonctionnement des machines, de sûreté de fonctionnement, de coût de revient et de qualité des produits. Par conséquent, l'adoption d'une excellente politique de maintenance s'avère plus qu'indispensable.

Actuellement, la maintenance constitue une réponse au besoin de maîtriser techniquement et économiquement des systèmes de production dans un environnement de plus en plus automatisé. Cette fonction de maintenance s'est étendue à toutes les sociétés industrielles et s'est répandue même dans les services. Ce constat s'explique par l'accroissement des coûts de réparation des défaillances et leurs conséquences dans des systèmes de production qui sont de plus en plus sophistiqués et complexes. La maintenance a un impact direct sur les bilans des entreprises et constitue de ce fait, l'une des activités les plus importantes dans un système de production.

La maintenance vise plusieurs objectifs à savoir : la garantie de la pérennité des machines industrielles, la réduction du taux de défaillances et imprévus, la préservation des conditions de sûreté de fonctionnement et la réduction des coûts de révision et de réparation. C'est ainsi que *Monchy* [MON 00] a remarqué qu'on peut synthétiser les missions de la maintenance en les plaçant sur trois plans interdépendants :

***Sur le plan technique :***

- Accroître la durée de vie des équipements,
- Améliorer la disponibilité et les performances matérielles.

***Sur le plan économique :***

- Améliorer les prix de revient en réduisant les coûts de défaillances,
- Réduire le coût global d'exploitation des équipements.

***Sur le plan social :***

- Réduire les risques accidentels, ce qui limite les dangers imprévus et revalorise la qualité du travail.

L'aide au diagnostic et à la maintenance a été pendant plusieurs années limitée aux avertissements de l'automate permettant uniquement d'orienter l'opérateur (détecteur hors service, température indésirable, problème mécanique, etc.). Par la suite, les constructeurs ont eu recours à une assistance à base de conversations téléphoniques assurant un télédiagnostic à l'aveugle, limitées généralement au traitement de simples défaillances. Il s'agissait alors plus de télésurveillance que de télémaintenance.

Ces dernières années, le secteur industriel a considérablement évolué avec l'avènement des TIC et notamment de l'Internet. C'est ainsi que nous assistons à l'évolution du concept de maintenance vers celui de télémaintenance. Cette nouvelle tendance constitue un support permanent, rapide et efficace qui permet d'adjoindre à distance des activités de maintenance [KOL 93]. Ainsi, la télémaintenance est un procédé permettant la maintenance d'une entité fonctionnelle via une communication directe entre cette entité et un centre spécialisé.

Notre étude menée sur les travaux dédiés à la notion de télémaintenance industrielle nous a amenés à synthétiser les concepts essentiels permettant d'appréhender l'état des connaissances actuelles sur ce domaine. Dans cette perspective, nous introduisons tout d'abord les différents indices situant l'évolution de la maintenance industrielle. Nous tenterons ensuite d'examiner les définitions les plus importantes qui ont été proposées afin de mettre en évidence les caractéristiques fondamentales régissant la notion de télémaintenance industrielle.

## 1.2 Maintenance industrielle

### 1.2.1 Définitions

Afin de cerner effectivement les points essentiels matérialisant le cycle évolutif de la maintenance industrielle, il est important de revenir sur ses principales définitions. En effet, selon le dictionnaire Larousse de 1995, la maintenance se définit comme étant :

*« Un ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou rétablir un système en état de fonctionnement ».*

La maintenance se définit selon la Norme AFNOR [AFN 77] comme étant :

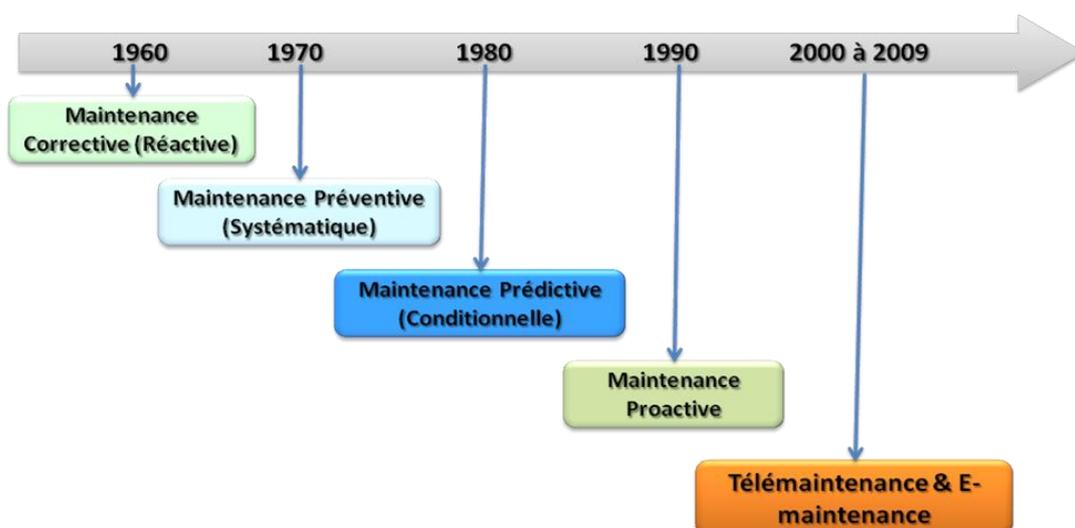
*«Un ensemble d'actions techniques et administratives correspondantes, y compris les opérations de surveillance et de contrôle, destinées à maintenir (maintenance préventive) ou à rétablir (maintenance corrective) une entité dans un état spécifié ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement (disponibilité, fiabilité et sécurité), lui permettant d'accomplir une fonction requise ».*

Quant à Richet [RIC 96], il a considéré la maintenance comme étant :

*« L'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management ».*

### 1.2.2 Evolution de la fonction de maintenance

La figure 1.1 illustrée ci-dessous fournit un bilan explicite des différentes évolutions des politiques de maintenance dans le temps avec les repères associés qui sont donnés à titre indicatif. Il en découle que l'émergence du domaine de la maintenance date des années soixante. A cette époque, la maintenance intervient après la détection d'un défaut dans le but de le corriger soit entièrement (curative) ou en partie (palliative). Les premières approches scientifiques tournant autour de cette problématique ont été déclenchées juste après. Il faut toutefois préciser que la maintenance a été préconisée au début comme un moyen permettant de minimiser les défaillances et les accidents inattendus.



**Fig 1.1.** Evolution de la fonction maintenance

Dans certaines entreprises, de très gros programmes de maintenance ont été développés. Ces programmes fondés sur le concept de *Maintenance Préventive Systématique (MPS)* sont élaborés dans le but de réduire la probabilité de pannes et de dégradations des équipements. La *MPS* représente donc une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant les dates probables d'apparition des défaillances. Elle s'exécute selon des échéanciers préétablis dans le temps.

Par ailleurs, dans l'intention d'optimiser ces programmes de maintenance préventive, les premières recherches fondées sur des modèles issus des principes de recherche opérationnelle ont été proposées à partir des années soixante-dix.

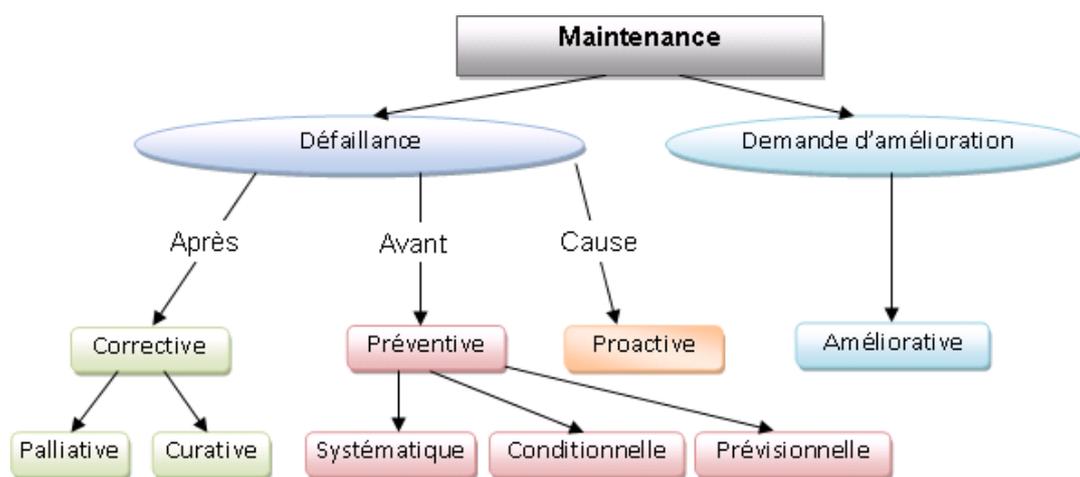
Dans les années quatre-vingt, grâce aux contrôles et surveillances des ateliers industriels, l'exploitation des informations décrivant l'état d'un équipement a permis de se focaliser sur des techniques pouvant prédire des défauts. Cela semblait être plus efficace que les gros programmes *MPS*. Cette nouvelle orientation a donné naissance à la *Maintenance Préventive Conditionnelle (MPC)* appelée aussi *Maintenance Prédictive*. Elle s'appuie sur la surveillance incessante de l'évolution du système afin d'anticiper un défaut avant qu'il n'arrive. La perception des causes de dégradation n'est pas forcément impliquée par la *MPC*, toutefois l'intervention préventive n'est décidée que lorsqu'il y a évidence empirique d'anomalies critiques, ou rapprochement d'un seuil de dégradation préalablement défini. Pratiquement, la *MPC* se base sur les résultats de l'analyse des mesures de certains paramètres du système (températures, vibrations, qualité des huiles, etc.) pour tenter de parer un dysfonctionnement.

Par la suite, dans les années quatre-vingt-dix, les tendances passent vers la *Maintenance Proactive (MPR)*. Cela implique la mise en place des moyens de surveillance et de vérifications continues des causes primaires de défaillances du système. Enfin, depuis les années 2000, et tenant en compte de la disponibilité des compétences, de la polyvalence et du savoir faire du personnel de maintenance, le domaine de maintenance a réalisé un saut évolutionnaire très important. Par conséquent, de nouvelles formes de maintenance plus sophistiquées et qui prennent en charge les accès rapides aux expertises extérieures (logicielles ou humaines), ont été envisagées. Cela permet aux personnels d'accéder aux informations à distance afin de les analyser dans l'intention de réparation des défaillances. Lorsque ces informations s'avèrent insuffisantes, il devient possible de bénéficier directement de l'assistance à distance d'experts plus chevronnés. Dans cette optique, le concept

classique de maintenance a évolué vers les nouveaux concepts de *Télémaintenance* et de *e-Maintenance*.

### 1.2.3 Stratégies de maintenance

Suivant l'évolution décrite précédemment (Figure 1.1), la norme AFNOR a défini en 2001 [AFN 01] les stratégies de maintenance. Les deux principales stratégies retenues étant la maintenance préventive et la maintenance corrective. La différence entre ces stratégies réside dans le fait que la maintenance préventive est réalisée avant la manifestation de la défaillance, tandis que la maintenance corrective s'effectue après.



**Fig 1.2.** *Types de maintenance*

#### *Maintenance corrective*

Le concept de *maintenance corrective* concerne l'ensemble des activités réalisées après l'apparition de la défaillance d'un bien ou la dégradation de ses fonctionnalités, dans l'intention de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités tournent autour de la localisation partielle ou complète de la défaillance ainsi que la remise en état nominal avec ou sans modification suivi d'un contrôle de bon fonctionnement. Le caractère provisoire ou définitif permet d'envisager les notions de maintenance *palliative* et *curative*.

Les intervalles de temps séparant les dates d'exécution des tâches de maintenance corrective et les dates de détections des défaillances, nous permettent de distinguer : la maintenance corrective *directe*, *différée* et *globale* :

- *Maintenance corrective directe* : C'est une maintenance exécutée juste après la détection de la défaillance. Elle est destinée à rétablir le système dans un état de fonctionnement nominal. Le caractère provisoire ou définitif de ce type de maintenance corrective permet d'envisager : la *maintenance palliative* et la *maintenance curative*.
- *Maintenance corrective différée* : C'est une maintenance corrective qui n'est pas immédiatement provoquée après la détection de la défaillance, mais retardée conformément à certaines règles préalablement définies. Par exemple, attendre que **R** équipements parmi **N** soient défaillants.
- *Maintenance corrective globale* : C'est une maintenance exécutée lorsque toutes les entités (les machines) du système tombent en panne. La maintenance corrective, dans ce cas ne peut être réalisée qu'après une intervention de durée assez importante.

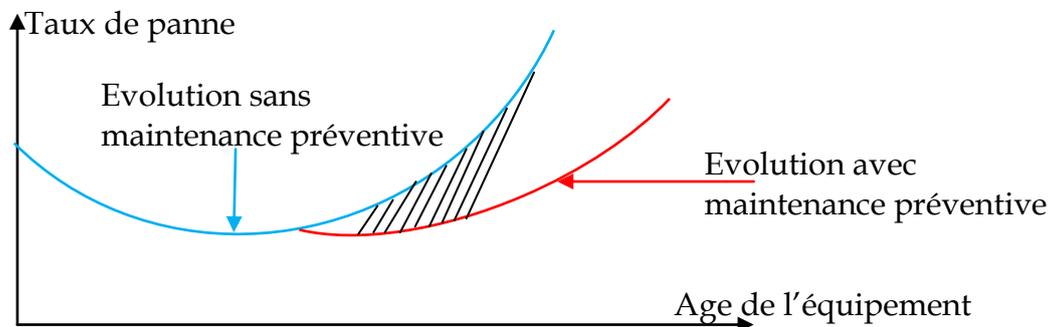
### *Maintenance préventive*

La norme AFNOR [AFN 01] a défini la maintenance préventive comme « *une tâche exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, qui est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation du fonctionnement d'un équipement* ». Elle se dissocie en : *Maintenance Systématique* et *Conditionnelle* :

- *Maintenance Systématique* : exécutée à des intervalles de temps anticipés indépendamment de l'état du système. Selon [AFN 01], la maintenance préventive systématique « *comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer, en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défaillants, lorsque ces tâches sont décidées en fonction du temps ou de la production, sans considération de l'état des matériels à cet instant* ».
- *Maintenance Conditionnelle* : fondée sur une surveillance continue du système ainsi que des paramètres significatifs de son fonctionnement. Pratiquement, ce type de maintenance se base sur le principe d'éviter tout remplacement d'un élément tant que ce dernier ne présente pas de signes de vieillissement ou d'usure mettant en cause ses performances.

Les éléments dégradés provoquant des pertes de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles importants pour l'entreprise sont généralement réglés à travers cette politique de maintenance préventive. Des études statistiques dédiées à l'optimisation des coûts ont effectivement mis en évidence des gains importants dus

aux pannes que cette stratégie de maintenance permet d'éviter. En effet, sur la figure 1.3 illustrée ci-dessous, nous distinguons explicitement que la minimisation du taux d'arrêts se justifie par l'exécution d'une bonne maintenance préventive.



**Fig 1.3.** Effet d'une bonne maintenance préventive [BEN 05]

### *Maintenance prévisionnelle*

Les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs constituent la base sur lesquelles la maintenance prévisionnelle va être programmée. Cette politique de maintenance se définit comme étant une maintenance préventive dépendante de l'examen de l'évolution contrôlée des paramètres significatifs de dégradation d'un système, permettant de planifier les interventions nécessaires.

### *Maintenance proactive (MPR)*

Selon [MON 00], le retour d'expérience et l'analyse approfondie des phénomènes pathologiques à l'origine des défaillances constituent la base sur laquelle la maintenance proactive va être fondée. Par conséquent, la MPR s'enrichit du diagnostic des causes de défaillances et s'appuie sur la MPC et la maintenance prévisionnelle.

### *Maintenance améliorative*

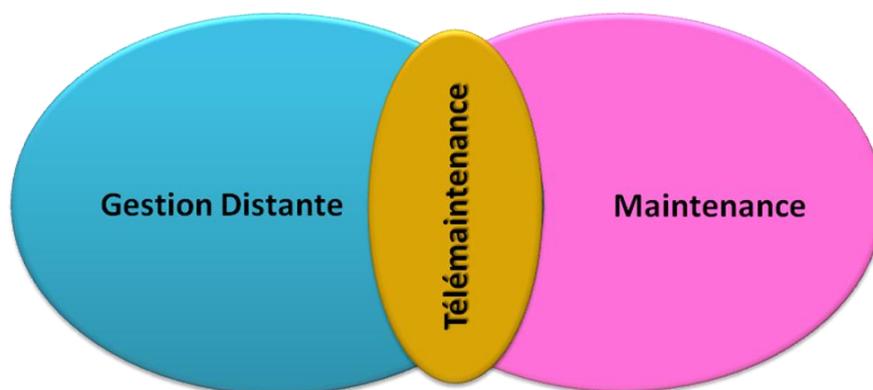
Dans l'objectif d'accomplir à travers un système de nouvelles fonctions ou d'améliorer les conditions des fonctions existantes, la politique de maintenance améliorative, autrement dite à échelle majeure peut être envisagée [AFN 77]. Il s'agit là, d'examiner les possibilités d'adapter le comportement du système conformément aux situations réelles.

## 1.3 Télémaintenance

Le terme de *Télémaintenance* est d'origine latino-grecque, il est composé du mot grec « *Téle* » signifiant loin et du mot latin « *manutenerer* » qui est composé de « *Manu* » comme la main et « *Tenerer* » comme tenir [RAS 07]. Dans la suite de ce paragraphe, nous allons expliciter le principe de fonctionnement de la télémaintenance ainsi que les systèmes de support associés.

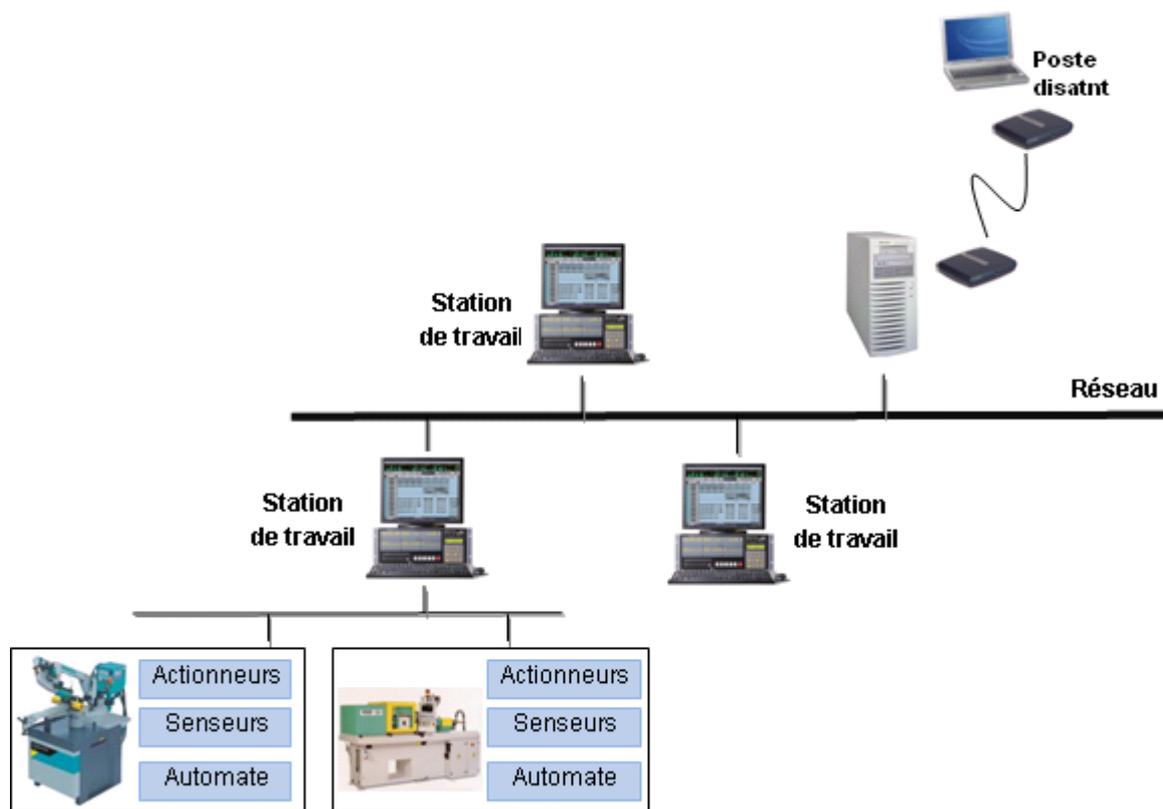
### 1.3.1 Principe

Par définition la télémaintenance représente « *la maintenance d'un bien exécutée sans accès physique du personnel au bien* » [AFN01]. Elle permet, en effet, d'adjoindre à distance des activités de maintenance (Fig. 1.4.). Cela envisage la mise en place des moyens assurant des télécommunications directes entre les unités fonctionnelles (biens) et un centre spécialisé en vue d'exécuter des tâches de maintenance. Ce concept de télémaintenance repose donc sur la perception de données ainsi que la prise de contrôle à distance.



**Fig 1.4.** *Télémaintenance Vs Maintenance [TAR 05]*

La télémaintenance s'impose progressivement pour tous les systèmes de production gérés par un microprocesseur. Celui-ci collecte, en effet, toutes les informations pertinentes, dérivant des différents senseurs, afin d'assurer le contrôle du système à distance (Fig. 1.5.). En conséquence, la possibilité d'agir à distance, depuis le point de contrôle, sur les grandeurs de réglage ainsi que les programmes qui pilotent les systèmes de production, permettent le télédiagnostic et donc la télé-réparation des équipements du parc industriel en entreprise.



**Fig 1.5.** Schéma générique de la télémaintenance

Ainsi, l'évaluation des apports significatifs de cette nouvelle technique de maintenance, révèle comme le montre la figure 1.6 illustrée ci-dessous, l'atténuation des problèmes industriels d'un ordre qui avoisine les 60%. Par conséquent, le nombre important de défaillances corrigées à distance tend à promouvoir le concept de télémaintenance dans le milieu industriel caractérisé particulièrement par une concurrence rude.

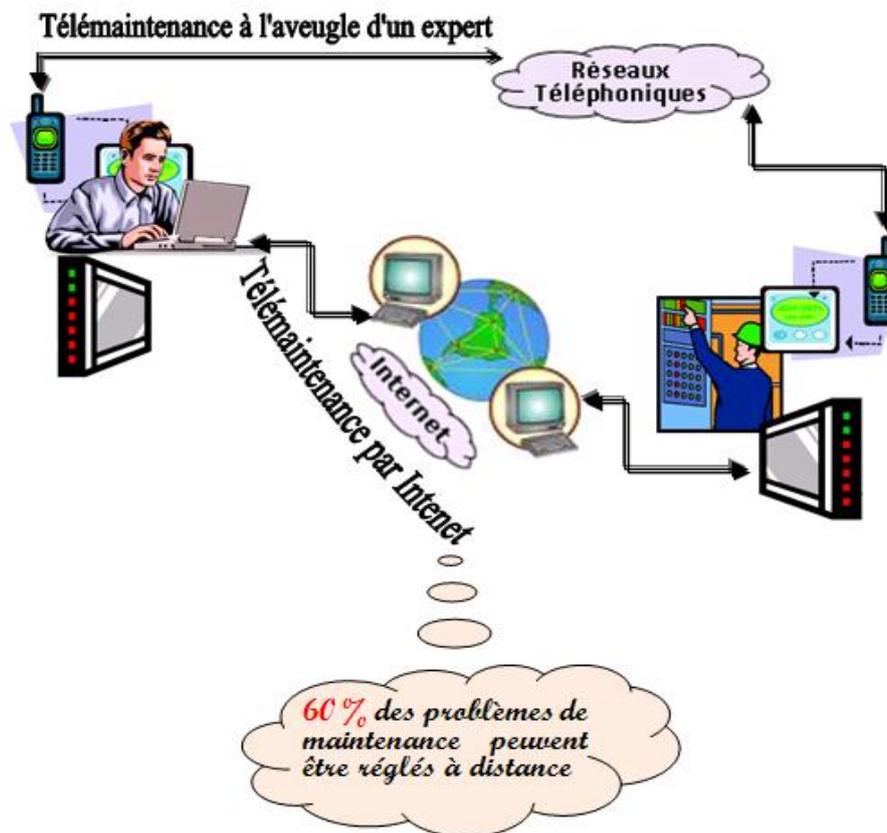
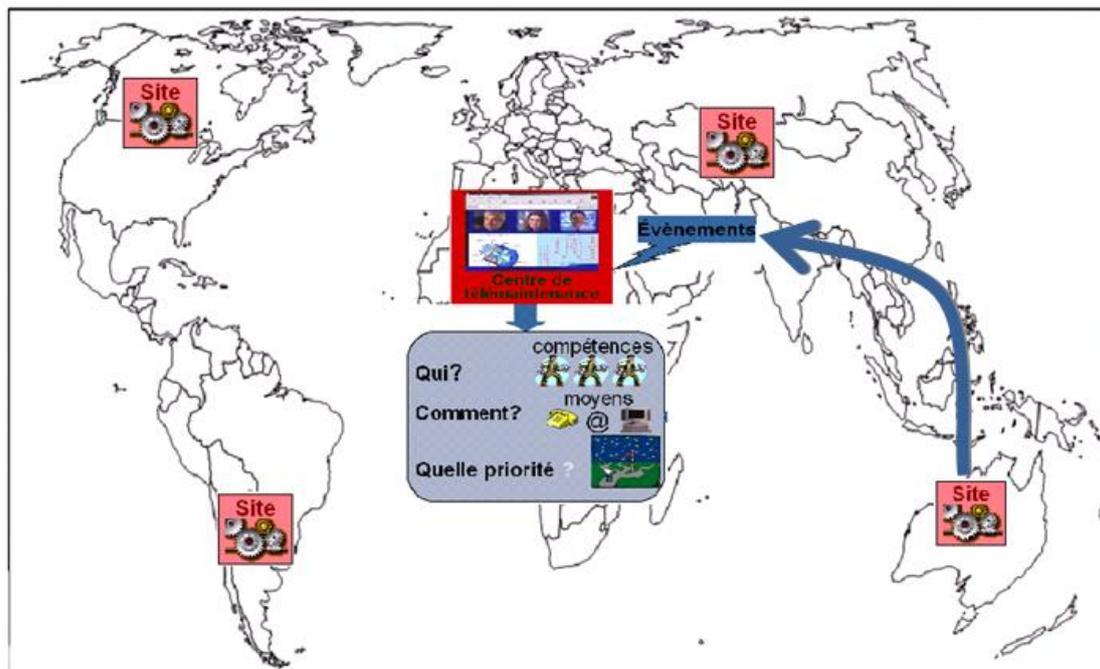


Fig 1.6. Taux de succès de la maintenance à distance

### 1.3.2 Systèmes de télémaintenance

La mise œuvre du concept de télémaintenance s'appuie sur le développement de systèmes de support appropriés. Kafel [KAF 01] pense qu'un système de télémaintenance repose souvent sur deux composants fondamentaux distincts : un *Centre expert de maintenance*, appelé aussi *Centre de compétences* ou de *télémaintenance* et l'ensemble de *sites à maintenir*. Le nombre de composants ne se limite pas forcément à ceux qu'on vient de citer et dépend particulièrement de l'organisation interne de l'entreprise. Ils peuvent ainsi être disposés au sein d'une même entreprise ou dans des entreprises différentes.



**Fig 1.7.** Architecture de base d'un système de télémaintenance

Ainsi, la télémaintenance suscite un intérêt croissant du secteur industriel ces dernières années. Comme en témoignent le nombre importants de séminaires qui lui sont exclusivement dédiés. Comme par exemple, les séminaires consacrés à l'étude de l'impact des TIC sur l'industrie, les salons et foires industrielles, les nombreuses offres de produits et services proposés par de grandes sociétés, etc.

Par conséquent, ce thème est toujours présenté comme l'un des enjeux présents et futurs de la gestion des entreprises dont l'efficacité repose sur leur capacité d'assurer la maintenance de leurs équipements. En littérature, le sujet a déjà fait l'objet d'investigations intenses depuis longtemps [GAB 85, KOL 92, KOL 93, DEC 96, GON 98, GRE 07]. Nous dénombrons actuellement aussi un nombre important de travaux mettant en évidence l'intérêt croissant manifesté par la communauté scientifique et industrielle à l'égard de cette problématique [BOU 01, SAI 02, LEV 04, GAR 04, BRA 06, RAS 07, HED 07a, HED 07b, IVA 08, HED 08a, HED 08b, HED 09].

Le point commun entre ces différents travaux est qu'ils ont cherché à surmonter l'obstacle de distance afin d'atténuer le problème d'isolement dont souffrent les entreprises face aux pannes des équipements en attendant le déplacement des spécialistes experts en maintenance. De ce fait, la mise en place de systèmes de

télémaintenance a constitué une priorité de plusieurs entreprises industrielles dans un domaine large et varié d'applications.

Le secteur nucléaire a été parmi les premiers à mettre en œuvre des solutions de télémaintenance pour des raisons de sécurité. Dans le domaine médical ces systèmes sont utilisés pour la détection et la maintenance des anomalies de fonctionnement des équipements médicaux depuis un centre hospitalier. Aussi, dans le domaine informatique, nous distinguons l'émergence de divers logiciels de maintenance permettant l'accès et le contrôle d'ordinateurs à distance [PC Anywhere, LANDesk Management, NetOp Remote Control, DameWare]. Le domaine militaire exploite également des systèmes de télémaintenance pour la réparation des équipements militaires depuis un centre expert de télémaintenance [TAD 96]. Le domaine des machines à outils intègre lui aussi des solutions de télémaintenance. Par conséquent, un professionnel chez le constructeur pourra interroger directement la commande numérique, les programmes, les entrées/sorties et consulter les messages d'erreurs, les poids, les températures, la consommation de courant sur les axes, les accélérations, etc.

## 1.4 E-maintenance

Dans cette section nous allons discuter le concept de l'e-maintenance. Nous allons focaliser beaucoup plus notre attention sur les facteurs d'émergence ainsi que sur son principe de fonctionnement.

### 1.4.1 Facteurs d'émergence

Concentrée au début sur une vision locale de son travail, la maintenance a accompli actuellement une évolution considérable. En effet, elle s'est progressivement intégrée aux autres processus de l'entreprise et nous assistons à une coopération étroite entre ces processus qui permet de contribuer effectivement à une amélioration significative de la performance globale [LEG 01]. Pour favoriser la circulation d'informations entre les divers processus impliqués dans la confection d'un produit, une évolution vers des structures intégrées, appuyées sur l'exploitation de logiciels de support appropriés a été adoptée par les systèmes de production. Le processus de maintenance a été ainsi ingénieusement intégré dans le système d'information global de l'entreprise. Ceci a facilité en conséquence les échanges et la communication avec les autres processus.

L'ajustement des architectures classiques de maintenance à la distribution de certains traitements au plus près de l'équipement, vise à habilitier les acteurs à disposer des accès distants au système d'information de l'entreprise. Cette possibilité explique en conséquence les caractéristiques évolutionnistes du processus de maintenance d'une maintenance centralisée vers une maintenance distribuée. Ainsi, les décisions de maintenance ne sont pas limitées aux activités de maintenance et comprennent aussi la coordination avec les objectifs des autres activités, où une décision coordonnée n'est prise qu'entre les responsables de maintenance et de production [MAC 94]. Dans le but d'assurer cette coordination, l'entreprise exploite les TIC, les supports de communication multimédia modernes, les nouvelles générations d'interfaces homme-machine, etc.

Durant la dernière décennie, la maintenance a considérablement évolué et l'avancement technologique des TIC a sans doute influencé cette évolution. Par conséquent, il est question aujourd'hui de *Télémaintenance*, *Télesurveillance* et aussi d'*E-maintenance*. De même que dans le secteur industriel, la technologie du Wireless, basée sur l'absence de supports physiques, entraîne une diminution des coûts, une souplesse au niveau de l'agencement des entreprises industrielles et une disponibilité de l'information [UCA 05]. Par conséquent, la large bande de communication permet le partage de données entre les équipements industriels, ainsi que l'accomplissement des actions à distance sur ces équipements de n'importe quelle localité dans l'univers [RAM 03]. Ceci est particulièrement facilité par la communication, le traitement de données, le contrôle à distance, la télédétection, etc.

Actuellement, nous assistons aux ouvertures sur les nouvelles capacités de systèmes interconnectés. Les nouvelles possibilités fournies par les moyens de communication actuels, la mobilité des terminaux et modes d'accès aux données permettent d'envisager des possibilités effectives de coopération [SAI 05a]. Il faut préciser que la mobilité constitue par exemple une opportunité importante qui permet aux experts en maintenance de collaborer indépendamment de leur location effective. En résumé, les TIC présentent les gains en termes d'utilisation des données d'origines multiples et de types distincts, ainsi que le traitement grands volumes de données. Elles permettent aussi d'assurer des raisonnements susceptibles d'accélérer les prises de décisions et d'implémenter des activités coopératives.

Un autre facteur important, est le réseau Internet qui a réalisé des progrès immenses ces derniers temps concerne sa structure sous jacente idéale. Il permet d'assurer la

disponibilité des informations de types variés (personnelles, organismes, communautés, etc.), qui sont commodément accessibles par le public. Dans un court intervalle de temps, l'Internet a certainement permis de réaliser des performances considérables en termes de diffusion de l'information et de mécanismes d'action accessibles sous forme interactive. Ainsi, la transmission, la réception et le partage de l'information sont mises à la portée des usagers du monde entier. Ceci explique l'engouement du secteur industriel pour les technologies web et les efforts immenses qui sont déployés afin d'exploiter l'Internet comme support de logiciels industriels.

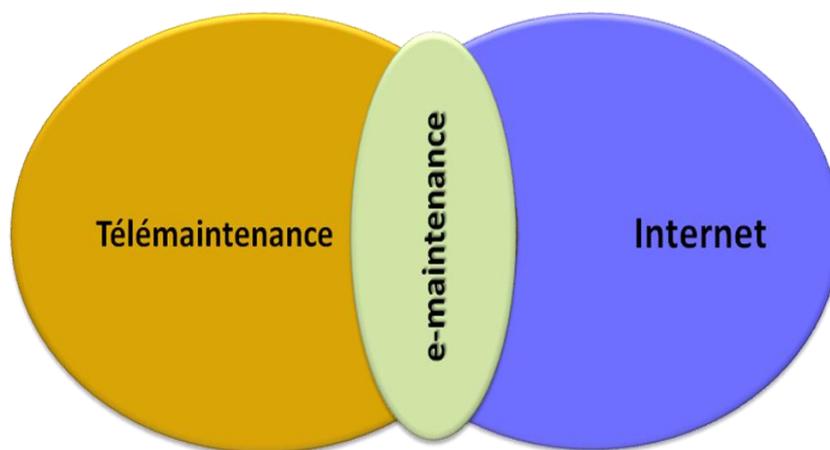
Les navigateurs standards, assurant des connections indépendantes de toute plateforme et permettent de donner à l'Internet l'aspect d'universalité. Ainsi, en utilisant Internet comme une base, nous pouvons inclure de manière continue de nouvelles formes d'informations tel que le multimédia. Ceci s'explique ainsi par la prédisposition du web en termes de support du multimédia, de l'interactivité et de l'extensibilité [WAN 04]. De plus, l'avancement considérable dans le domaine des bases de données, ainsi que les technologies objets permettent aux usagers de se connecter à des données à travers de simples interfaces web. Par conséquent, ces progrès permettent aux industriels d'améliorer leurs services de maintenance afin de faire face aux problèmes liés à la mobilité, ainsi que d'accélérer le processus de réparation des équipements.

Bien que l'Internet dispose d'une opportunité technique importante aux développeurs de systèmes répartis, des obstacles de taille gênent encore le développement des applications collaboratives de supports de la télémaintenance industrielle. Ces obstacles sont dus à la difficulté de gestion de la cohérence des données partagées, ainsi que la limitation des navigateurs standards qui restent des outils mono-utilisateur, qui ne fournissent à l'instant que des supports simples afin de faciliter le contact entre les utilisateurs. Par conséquent, des fonctionnalités qui sont susceptibles de permettre aux personnels de maintenance de collaborer et de coordonner leurs actions autour des activités partagées doivent être nécessairement développées.

Les systèmes de télémaintenance tendent naturellement vers le nouveau concept d'*e-maintenance*. En fait, le terme *e-maintenance* qui a émergé aux débuts des années 2000 est maintenant un terme très communément utilisé dans la littérature relative à la maintenance. Cependant, il n'existe pas encore de consensus actuellement à propos de sa définition aussi bien du point de vue théorique que pratique [MUL 07].

Les ingénieurs ou les scientifiques peuvent considérer l'e-maintenance comme un concept, ou comme une philosophie, ou comme un phénomène, etc. Par exemple, selon Baldwin [BAL 04], le « e » dans le terme *e-maintenance* représente le mot « *excellente* » : qui signifie *maintenance excellente*. Cette dernière englobe la maintenance efficace (*l'efficacité désigne l'exécution des activités de maintenance avec moins de personnes et moins d'argent*), la maintenance efficace et la maintenance de l'entreprise (*c.à.d. sa contribution influe directement sur les performances de l'entreprise*).

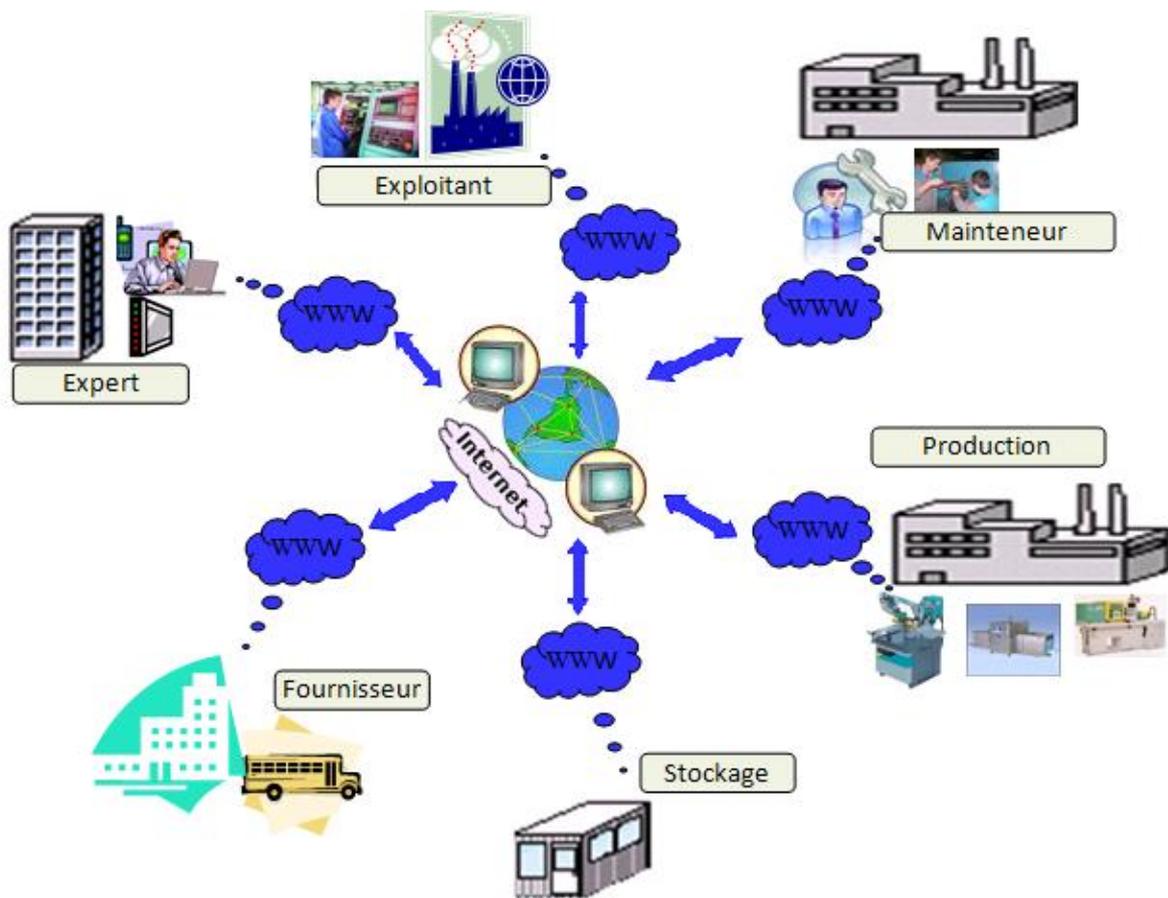
Trois ans après, Muller [MUL 07] a défini le concept d'e-maintenance comme étant « *un support de maintenance qui inclut les ressources, les services et la gestion nécessaire permettant l'exécution du processus de la décision proactive. Ce support inclut les e-technologies (c.-à-d. TIC, Web services, Wireless, etc.), ainsi que les activités de l'e-maintenance (opérations ou processus) tels que : e-contrôle, e-diagnostic, e-pronostic, etc.* »



**Fig 1.8.** *E-maintenance Vs Télémaintenance [TAR 05]*

### 1.4.2 Principe

Dans l'intention d'assurer l'accès distant à des outils intelligents, l'e-maintenance constitue le croisement de différentes composantes. Elle préserve le principe de base de la télémaintenance en lui attribuant une dimension importante, formée par la coopération informationnelle inter-sociétés, interservices, interpersonnels, etc. [LEG 04].



**Fig 1.9.** Schéma générique de l'e-maintenance

L'incorporation de divers systèmes de maintenance au sein d'un seul système d'information constitue le principe de l'e-maintenance. Ces divers systèmes présentent souvent des formats de données variés dont ils ne sont pas constamment compatibles pour le partage. Ceci nécessite la mise en place des moyens de coordination et de coopération entre ces systèmes pour les rendre interopérables. L'interopérabilité (Fig. 1.10.) indique donc « la capacité qu'ont deux systèmes de communication à communiquer de façon non ambiguë, que ces systèmes soient similaires ou différents. On peut dire que rendre interopérable, c'est créer de la compatibilité. » [RAS 07, BAN 06].

L'implémentation de tout système d'e-maintenance s'accomplit sur des plateformes réparties collaboratives intégrant divers logiciels de maintenance (Fig. 1.10.). Ces plateformes qui s'appuient sur le réseau Internet permettent l'échange, le partage et la distribution des informations et la production collaborative des connaissances. En

effet, la notion de maintenance intelligente peut être utilisée, ainsi que les politiques de maintenance proactives et coopératives sont mises en action.

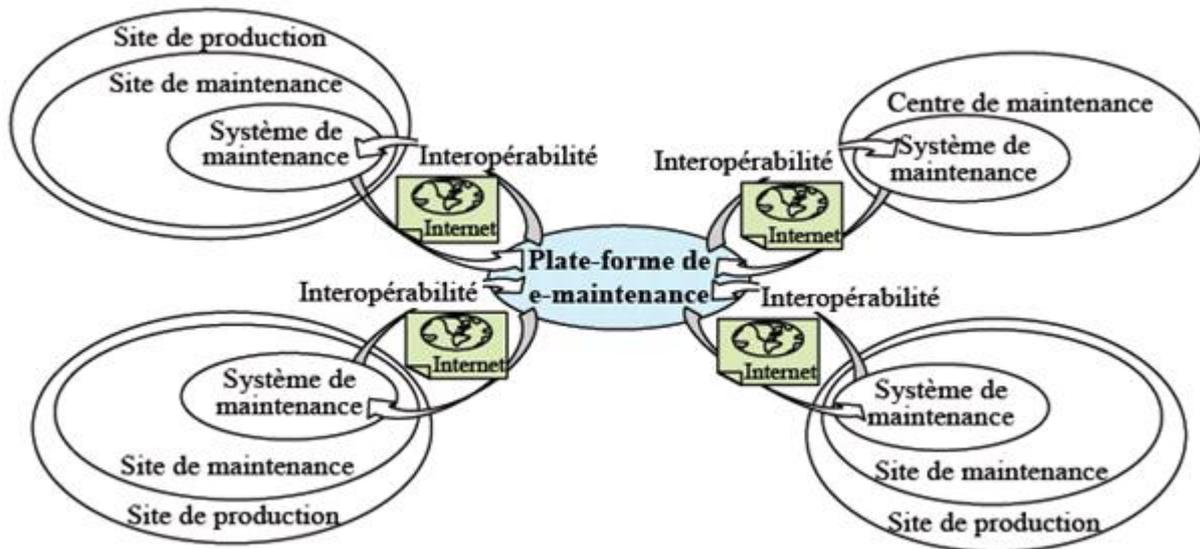


Fig 1.10. Architecture d'un système d'e-maintenance [RAS 07]

## 1.5 Plateformes d'e-maintenance

Compte tenu de la complexité croissante des activités de maintenance, de nombreux logiciels informatiques assurant l'assistance, la gestion et l'aide à la décision sont jugés nécessaires et doivent cohabiter. La complémentarité, la redondance, parfois l'incohérence et perpétuellement l'hétérogénéité constituent évidemment les caractéristiques décrivant la relation entre ces logiciels. En effet, la mise en place d'une plateforme à architecture générique, intégrant ces divers logiciels et décrivant une unique et cohérente description des installations industrielles en vue de leur maintenance, constitue sans doute un facteur d'efficacité pour la maintenance industrielle.

Dans cette optique, nous pouvons définir la plateforme d'e-maintenance comme étant un ensemble indissociable de logiciels, de matériels et nouvelles technologies assurant à distance, des services de maintenance. Une révision récente de la littérature rattachée à ce contexte propose de fonder la démarche conceptuelle sur les technologies Web et les systèmes multi-agents. Cette proposition constitue une conséquence de l'étude menée par Campos [CAM 05] sur les dernières applications des TIC, plus spécialement, le Web et les technologies à base d'agents. Il conclut que

les implémentations actuelles dans ce domaine sont restées à un stade rudimentaire. Pour Jardine [JAR 06], les raisons qui entravent l'application effective des avancées technologiques dans le contexte de maintenance industrielle pourraient être dues à des carences en termes de données, de communication efficace entre les développeurs de théories et les praticiens du domaine de maintenance. Il constate à cet effet aussi l'absence d'approches efficaces de validation et la difficulté d'implémentation (*changement fréquent des designs, des technologies, des politiques d'affaires et d'exécutifs d'administration*).

En dépit de la problématique complexe du domaine, plusieurs plateformes d'e-maintenance ont été développées et utilisées ces derniers temps (*MIMOSA, ENIGMA, CASIP, ICASAME, Remote Data Sentinel, INTERMOR, INID, IPDSS, WSDF, MRPOS, PROTEUS, TELMA, etc.*). Ces plates-formes constituent en fait, le fruit d'une collaboration entre les secteurs industriel et universitaire. Elles peuvent être classées comme des plates-formes propriétaires, développées dans le cadre de projets ou dans le cadre de la recherche scientifique.

La première initiative de développement d'un système d'information intégral, dédié au management de la maintenance industrielle a été initié par les Etats Unis qui ont lancé leur premier projet dans les années 90. Ce projet baptisé *MIMOSA* (Machinery Information Management Open Systems Alliance) a été réalisé suivant une approche fondée sur les environnements intégrés d'entreprise (*EAI* : Enterprise Application Integration) afin de mettre en place un réseau de coopération en maintenance [MIT 98, KAH 03].

Par ailleurs, pédagogiquement et scientifiquement autant de parcours Licences et de Masters de l'Université Henri Poincaré de Nancy-1 centrés autour du contexte de maintenance ont été proposés. L'objectif de ces parcours étant d'exploiter les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour la construction de nouvelles architectures de maintenance. Ils ont montré en effet la nécessité de disposer de plateformes de maintenance industrielle permettant le développement d'enseignements dans ce contexte. À travers ces plateformes, les étudiants peuvent aborder les aspects associés à l'organisation et prendre conscience des difficultés posées par l'usage de ces technologies. C'est ainsi qu'un projet appelé *TELMA*<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> <http://www.aip-primeca.net/>

(*TELéMAintenance*) a été proposé [LEV 04, LEV 05]. Ce projet aspire à mettre à la disposition des universitaires une plateforme expérimentale en rapport avec les nouvelles exigences revendiquées par le secteur industriel, que ce soit en termes de maintenance ou de sûreté de fonctionnement. Cette plateforme repose sur l'exploitation des technologies de l'information et de la communication afin d'assurer la télésurveillance, la télémaintenance et l'e-maintenance.

Pour des raisons pédagogiques, de compréhensibilité, d'efficacité et de sûreté de fonctionnement, *TELMA* se devait d'être simple à utiliser, proche de la réalité industrielle, accessible à distance et disponible en permanence.

*Proteus*<sup>5</sup> est un autre projet initié par *Cegelec* (France) en collaboration avec le *CNRS* (via le laboratoire d'automatique de Besançon) et *Schneider Electric*. Le développement d'une plateforme générique intégrant aux applications de gestion de la maintenance assisté par ordinateur, les capacités de télémaintenance, les techniques de réalité virtuelle, l'acquisition de pièces détachées sur le web et l'accès en ligne aux guides techniques des constructeurs d'équipements industriels, constituaient les objectifs visés par ce projet.

*Proteus* permet également de faciliter la maintenance à distance et d'améliorer les mesures de travail, avec la minimisation des risques ainsi que la réduction du stress des opérateurs, tout en utilisant la maintenance préventive. Un autre facteur d'amélioration concerne la disponibilité de l'information pour les responsables de sécurité ainsi que les opérateurs, qui peuvent y accéder facilement. Cette plateforme constitue un portail qui assure le lien entre le responsable de maintenance et les moyens existants servant à la maintenance à savoir : les bases de données de maintenance, les documentations accessibles en ligne, ERP, GMAO, etc.

Dans l'objectif de mise en place d'une solution matérielle et logicielle assurant la télémaintenance industrielle coopérative, un autre projet nommé *TEMIC* (*TELé-Maintenance Industrielle Coopérative*) a été initié par Garcia [GAR 04]. L'accent a été mis sur la mobilité des experts coopérants pour réaliser les activités de maintenance à distance, ainsi que sur les aspects réseaux (hétérogénéité, dynamique, etc.). Via *TEMIC*, les tâches de maintenance peuvent être exécutées en collaboration avec les experts, et leur mobilité se fait à deux niveaux :

---

<sup>5</sup> <http://www.proteus-iteaproject.com/>

- *Localement (dans l'ordre de 100 m)* : Dans l'intention de joindre l'expert le plus motivé à propos d'une défaillance spécifique, la détection de la présence de cet expert s'effectue dans un champ prédéterminé de l'ordre de 100 m.
- *A distance* : A travers le réseau de téléphones portables (GSM/GPRS), les experts de maintenance sont joignables quel que soit leur location.

La combinaison de techniques innovantes en termes de mobilité et de réseaux permet d'envisager des solutions de maintenance de haute qualité. Ces solutions sont basées sur la mise en relation simultanée, à proximité ou à distance, des données informatiques multimédia adéquates et des compétences humaines adaptées.

### 1.5.1 Bilan des travaux actuels

Plusieurs entreprises dans les différents domaines économiques ont identifié le besoin de recours aux expertises humaines comme capital. En effet l'expert peut être considéré comme une source d'informations pertinente et indispensable au bon fonctionnement de l'entreprise [IRM 06, YIM 03]. Lors d'une tâche de réparation, la coopération entre plusieurs experts est un comportement tout à fait naturel. Différents experts peuvent alors participer à la résolution du problème commun à travers le partage de leur savoir-faire. Cependant, la séparation géographique et la disponibilité des experts posent une contrainte sérieuse qui entrave le bon déroulement du procédé de maintenance.

Les tentatives des travaux de recherches discutés précédemment n'offrent en fait qu'une forme limitée de support du travail coopératif à distance entre plusieurs experts humains de maintenance. La raison essentielle à cela reste l'absence d'un espace de travail partagé regroupant les outils de partage et de communication. Ainsi, les informations disponibles dans de l'espace de travail partagé permettent aux experts de prendre continuellement conscience des différents événements qui surgissent (conscience de groupe) indépendamment de leur location physique. Par conséquent, dans notre travail de recherche décrit dans cette thèse, nous accordons une importance extrême au concept de la conscience de groupe. En effet, ceci est motivé par le fait qu'il représente une composante fondamentale des supports de collaboration et nous permet d'assurer la progression d'une tâche de groupe de manière efficace.

Par ailleurs, il faut préciser que les actions humaines réalisées par les individus pour le compte de leur organisation sont souvent effectuées de manière collective. Ainsi,

les exigences et la culture de l'organisation sont reflétées par les activités humaines, qui doivent être acceptées par l'organisation une fois achevées. Habituellement, les individus d'une organisation devant effectuer conjointement une tâche doivent donc participer à des réunions pour fixer les objectifs ou réviser le progrès du travail accompli et prendre part à des polémiques informelles afin de développer et d'évaluer leurs points de vue. Sans oublier qu'ils travaillent ensemble lors de développement des projets et tentent d'articuler aussi bien leurs actions individuelles (tâches faciles) et les actions réalisées collectivement (tâches difficiles).

Dans cette dialectique, chaque individu de l'organisation doit montrer son travail aux autres pour d'éventuelles révisions ou commentaires et peut prendre la responsabilité de l'une des phases du projet. Enfin, tous les participants du projet échangent les informations pertinentes qui se rapportant à toutes ces activités pendant des réunions, des interviews, des conversations, etc. Toutes ces activités peuvent être considérées sous le concept du *Travail Coopératif*.

Dans un monde industriel et notamment celui qui touche les ateliers de maintenance, les individus travaillent aussi de façon collective. Les projets de groupe tendent souvent à reproduire les activités coopératives décrites précédemment. Les discussions entre les techniciens, les opérateurs, les experts en maintenance et les gestionnaires d'entreprises leurs permettant de planifier des tâches, de détecter des défaillances, d'identifier les causes de pannes, de localiser les sous-ensembles défaillants du système industriel, de diagnostiquer des problèmes, de réparer des pannes, etc.

De même que l'exécution des tâches de maintenance par un groupe de personnes constituent des activités collectives destinées à faire avancer le processus de réparation. Ces activités peuvent être décrites en termes de maintenance *coopérative*. Dans plusieurs cas, le travail coopératif (*conduite d'un projet*) et la maintenance coopérative (*projet de maintenance industrielle*) impliquent l'entrelacement d'activités similaires relevant de l'organisation et le partage du travail. Nous comptons exploiter les expériences acquises en matière de gestion de projets dans le cas particulier qui nous intéresse ici : la *Maintenance Industrielle*. Cette étape d'analyse est extrêmement importante pour cerner les besoins associés et fournir la variété de supports technologiques appropriée. Notamment pour fournir des outils coopératifs permettant les réunions de travail, l'échange de messages, les conversations vocales, etc.

En fait, au cours de la réalisation d'une tâche de maintenance, les experts de maintenance exploitent divers mécanismes de communication, en fonction de leur convenance. Par conséquent, une équipe de travail peut combiner des réunions directes, le téléphone pour discuter des idées et des outils coopératifs pour organiser le travail. Par conséquent, dans un contexte de télémaintenance industrielle, une contribution visant à répondre de façon objective aux besoins sous-jacents, nécessitera le développement des supports informatiques favorisant l'interaction, la communication et la coordination entre les participants. En effet, notre étude part d'une analyse de la tâche de télémaintenance en tenant compte des besoins des experts participants en matière de collaboration, de communication et de coordination.

## 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la problématique générale de notre domaine travail, qui concerne la télémaintenance industrielle. Elle constitue une phase de réflexion et d'étude des résultats acquis dans ce domaine. Après avoir dressé les repères essentiels décrivant le cycle d'évolution de la notion de maintenance industrielle et les différentes politiques adoptées, nous avons présenté le concept de télémaintenance ainsi que son principe de fonctionnement. Nous avons également précisé qu'environ 60% des problèmes industriels peuvent être réglés à distance via des systèmes de télémaintenance utilisant les TIC. Nous avons considéré par la suite les principaux systèmes de télémaintenance existants en précisant que le point commun entre eux reposait sur la tentative de surmonter l'obstacle de distance afin d'atténuer le problème d'isolement dont souffrent les entreprises face aux pannes des équipements en attendant le déplacement des experts.

Dans la dernière partie de ce chapitre, nous avons clairement explicité le principe de transition entre la notion de télémaintenance et celle d'e-maintenance. Cette nouvelle notion représente une forme intelligente de télémaintenance et son principe de fonctionnement se base principalement sur les Web services. La mise en œuvre du concept de l'e-maintenance se concrétise par l'implémentation d'une plateforme coopérative distribuée intégrant différents outils et applications de maintenance. Cette plateforme qui doit prendre appui sur le réseau Internet et la technologie web permet d'échanger, de partager et de distribuer des informations. Par conséquent, nous avons conclu ce chapitre par une présentation des principales plateformes de

l'e-maintenance. Nous avons également précisé que les différentes propositions dans ce contexte ne traitent pas la coopération et la collaboration synchrone des groupes d'experts. De même que nous avons relevé l'absence de définition du concept d'espace de travail partagé. Nous pensons que cette nouvelle forme de coopération et de collaboration se base principalement sur la mise en place des outils du travail coopératif (Groupware). Dans le second chapitre, nous reviendrons avec plus de détails sur les fondements du domaine du Groupware en explicitant ses caractéristiques essentielles.

## Chapitre 2 : Travail coopératif assisté par ordinateur

### 2.1 Introduction

Le terme anglo-saxon *CSCW*<sup>6</sup> est exploité dans la littérature pour décrire l'ensemble des logiciels qui soutiennent la coopération d'individus autour de tâches communes [GRE 92a]. L'interprétation française de ce terme est *Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO)*. En vue de prendre connaissance sur le fonctionnement des groupes humains en situation de coopération, le domaine de recherche *TCAO* constitue une discipline qui fait appel à plusieurs sciences à savoir : la sociologie, la psychologie, l'ethnographie, l'informatique voire l'économie.

Quant à la conception des logiciels d'assistance au travail coopératif, les recherches en *TCAO* constituent beaucoup plus des expériences de compréhension des caractéristiques et la nature de la coopération. Ainsi, vu que les sujets traités par le *TCAO* se focalisent davantage sur la façon de mise en œuvre de la communication et de la coordination homme-homme, plutôt qu'à la spécification de communication homme-machine, les techniques étudiées dans ce domaine envisagent une transformation de ce paradigme dans l'informatique.

---

<sup>6</sup> CSCW indique *Computer-Supported Cooperative Work*

Les solutions du *TCAO* sont appliquées dans de nombreux domaines à savoir : la production, la maintenance, l'enseignement, les jeux, le commerce, etc. Bien que ces domaines ne visent pas les mêmes objectifs, ils possèdent les mêmes caractéristiques qui doivent être prises en considération par les logiciels du travail coopératif. La réalisation par les usagers de tâches coopératives à partir de leurs stations de travail (*ordinateurs fixes, portables, ordinateur de poche, téléphone mobile*) constitue une autre caractéristique des logiciels destinés au support du *TCAO* [DAV 03a, DAV 03b].

Les *Groupware* représentent ainsi les outils étudiés par les chercheurs en *TCAO*. Les méthodes du *TCAO* sont pratiquement mises en œuvre par des interfaces multiutilisateur offertes par les *Groupware*. Au début, un *Groupware* peut donc être défini, comme « *une technologie de l'information utilisée pour aider des gens à travailler ensemble de manière plus efficace.* » [COL 92].

Avant d'aborder en détail les caractéristiques de ce domaine, il est nécessaire d'étudier tout d'abord les concepts proportionnels à la coopération en présentiel. Dans cette perspective, nous commençons par la considération du point de vue de Desnoyers [DES 93] par rapport à ce sujet, il définit le travail coopératif comme « *une activité menée par un ensemble d'opérateurs travaillant dans un même but, qui se sont concertés à cet effet, qui coordonnent leur activité et qui coopèrent.* ». Par conséquent, ce sont les activités de coordination et de coopération qui prévalent pendant le travail partagé. Afin de concrétiser ces deux activités, l'activité de communication s'avère d'une importance extrême. Cela nous a permis de considérer la coopération, la coordination et la communication comme trois formes primordiales du travail coopératif, usuellement inséparables. En effet, notre étude dans le cadre de cette thèse, se focalise sur la proposition de solutions *TCAO* intégrées dans le contexte de la télémaintenance, sous l'angle de ces trois activités.

Dans la perspective d'introduire explicitement le domaine du *TCAO*, nous nous proposons maintenant de définir les concepts fondamentaux liés au domaine en mettant d'avantage l'accent sur les notions de coopération, coordination et de communication.

## 2.2 Concepts fondamentaux

### 2.2.1 Coopération

Un bon exemple sur la coopération dans la nature concerne les insectes sociaux [TAL 99]. Le monde des abeilles et des fourmis constitue sans aucun doute un terrain idéal pour étudier le travail coopératif et la réalisation des tâches par les groupes. Ces insectes agissent au sein d'une famille très structurée et fortement gérée par des règles strictes de travail. Ils exploitent des moyens de communication, pourtant simples, mais qui sont très performants et permettent de véhiculer une sémantique très riche. Au sein d'une colonie, aucun insecte ne possède une vue d'ensemble de l'activité partagée, cependant, les comportements de chaque élément mènent bien à résoudre une situation (transporter la nourriture, construire des structures, etc.).

Les fourmis sont un modèle de coopération et de régularité extrêmement performant. Afin de transporter au nid les gros objets par rapport à leur taille, les fourmis rassemblent leurs efforts. Ainsi, certaines aident même des congénères blessées à regagner la fourmilière. L'observation de ces insectes nous permet de mieux expliquer l'activité de coopération, ainsi que ses exigences essentielles, son évolution, etc.

Du fait que les aptitudes communicatives des êtres humains sont largement évoluées et permettent d'envisager des scénarios d'interaction beaucoup plus complexes, la coopération humaine peut prendre une dimension élevée. Néanmoins, cette coopération humaine engendre souvent des conflits d'intérêts individuels et collectifs. Ainsi, le comportement coopératif résultant des comportements individuels est beaucoup moins prévisible que dans le cas des insectes sociaux, même si ces comportements individuels sont très compliqués et reposent sur des méthodes de perception évoluées. Dans cette optique, Pavard [PAV 94] a défini le concept de coopération humaine comme « *un ensemble de situations comportementales* ». Par conséquent, **A** coopère avec **B** lorsque :

- *A travaille en anticipation en fonction de la charge de travail de B ;*
- *A essaie de laisser une situation saine pour B ;*
- *A adopte les buts de B ;*
- *A change l'intention et s'approprie celle de B ;*
- *A essaie de pallier les insuffisances de B ;*

- *A rend B moins dépendant de A ou des circonstances.*

Selon Millot [MIL 97], deux agents coopèrent lorsqu'ils gèrent les interférences entre leurs propres objectifs (*avec coordination, spécification des objectifs des agents et la possibilité de prévision*), ainsi que chacun agit de façon à faciliter les objectifs de l'autre.

### 2.2.2 Coordination

La majorité des expériences en TCAO ont révélé, d'un côté, que la coopération ne peut unir complètement les actes individuels en l'exclusion de coordination, et de l'autre côté, la coordination n'est jamais capturée sans situation de coopération. Dans cette optique, Malone [MAL 90] a proposé une définition générique à la notion de coordination comme «*L'acte de travailler ensemble de façon harmonieuse.*». Nous observons que cette définition fait référence au terme harmonie. Ce dernier tient compte de la résolution de conflits généralement associés à la coopération. Quatre ans après, le même auteur [MAL 94] a donné une autre définition plus pointilleuse de la coordination : «*C'est l'acte de manager les interdépendances entre les activités accomplies pour atteindre un but.* ». Cela précise que manager des interdépendances forme le verrou de prise en charge du problème de coordination.

Les objets manœuvrés par les tâches coopératives sont appelés *Artefacts*. Certains d'entre eux contribuent explicitement à coordonner les tâches de plusieurs personnes. A titre d'exemple, afin de déplacer une table, les individus coordonnent leurs trajets en se basant sur les caractéristiques physiques de cette table. Ceci explique que l'artefact table influence la façon de coordination, suivant le principe stipulant qu'un artefact se définit comme étant «*un objet qui sert à un moment donné à coordonner les activités des individus.* ». Ainsi, Schmidt [SCH 96] a considéré que «*les protocoles de coordination sont traduits sous forme matérielles via les artefacts.* ». Les clés et les verrous d'accès aux bâtiments, aux tiroirs, aux véhicules, etc. donnent un bon exemple permettant l'accès exclusif des personnes et illustrent parfaitement la conversion en objet d'un mécanisme de partage.

### 2.2.3 Communication

Indépendamment des définitions relatives au domaine du TCAO, le dictionnaire le Robert, explique le terme *communiquer* comme étant «*l'action de faire connaître.* », ainsi que le mot *communication* par «*l'établissement d'une relation entre deux personnes.* ». Revenant à notre contexte, Zarifian [ZAR 98], remarqua que : «*communiquer, c'est se*

*comprendre, c'est d'essayer de se mettre d'accord sur quelque chose et c'est aussi vouloir se comprendre* ». Dans l'intention de décortiquer ce point de vue, nous discernons les affirmations suivantes :

- « *Essayer de se comprendre* » ou « *essayer de se mettre d'accord* » énoncent que les collaborateurs créent une compréhension partagée, tout en s'appuyant sur les connaissances propres des autres.
- « *Vouloir comprendre* », c'est désirer enrichir ses propres connaissances via un apprentissage implicite issu de la communication avec les autres.

Dans cette dialectique, nous pouvons stipuler que la communication intervient dans le processus de coopération comme un facteur primordial. Elle permet en effet de construire un espace d'intersubjectivité envie d'éclaircir la nature des problèmes à traiter et des connaissances à étendre, de fixer les objectifs, d'expliquer la sémantique des actions et de converger les intentions. Enfin, la conversation en tant que forme avantagée de la communication au sein des situations de travail coopératif constitue une activité de coopération très riche.

## 2.3 Groupware

Vu l'avancement considérable que connaît actuellement le domaine des réseaux de télécommunication, ainsi que l'intégration immense en termes de matériels informatiques dans les secteurs professionnels, éducatifs et domestiques, le domaine du TCAO s'affirme de plus en plus dans notre vie quotidienne.

Ainsi, puisque le Groupware (logiciel de groupe) incarne le fruit des grands efforts fournis par la communauté scientifique associée, nous tenons de détailler ses caractéristiques dans cette section. Dans la suite de cette section, nous reviendrons d'abord sur les principales définitions qui ont été proposées. Nous considérons ensuite les avantages visés à travers l'utilisation de ces systèmes. Enfin, nous discutons les principales classifications fournies dans la littérature afin de fournir plus de clarifications autour de la technologie Groupware de façon générale.

### 2.3.1 Définitions

Dans le but de caractériser un Groupware, une variété de définitions ont été proposées. Linguistiquement, le dictionnaire *Reverso*, définit le terme Groupware

comme étant : « un logiciel permettant à un groupe de réaliser un travail » (<http://dictionnaire.reverso.net/francais-definitions/collecticiel>).

Scientifiquement, nous citons la plus habituelle des définitions, celle donnée par Ellis [ELL91]: « *Computer-based systems that support groups of people engaged in a common task (or goal) and that provide an interface to a shared environment.* ». Une interprétation française de cette définition a été introduite par Karsenty [KAR 94]: « *Les Groupware sont des systèmes informatiques qui assistent un groupe de personnes engagées dans une tâche commune (ou but commun) et qui fournissent une interface à un environnement partagé.* ».

## 2.3.2 Avantages des Groupware

### 2.3.2.1 Abolition des contraintes spatio-temporelles

Au sein d'un groupe, les participants peuvent collaborer autour d'un projet partagé sans être réellement dans le même endroit et au même instant. Ils peuvent rédiger des documents partagés, développer des idées, dialoguer à propos de problèmes, etc. De plus, ils peuvent participer au travail à partir de n'importe quel endroit (Bureau professionnel, bureau personnel, chambre, etc.). Cela signifie que nulle contrainte n'est posée sur le lieu ni sur le temps.

### 2.3.2.2 Parallélisation de communications et prise de décision rapide

Usuellement, une réunion regroupant dix participants intervenants de manière équitable, avec un tour de parole de six minutes chacun, signifie que quiconque doit rester à l'écoute des autres pendant 54 minutes (le temps de non-participation de chacun vaut à 90 %); ce qui baisse le rendement des réunions. A travers l'exploitation des technologies adéquates, le partage des opinions se fait de manière plus rapide parce que les communications peuvent se dérouler de façon parallèle. Dans cette vision, une étude faite par IBM a révélé qu'il est possible d'économiser les temps de réunions de 56% grâce aux outils Groupware. C'est ainsi que Boeing a bénéficié par ce même biais 11478 heures sur 64 réunions contenant 1000 participants. Par conséquent, les décisions peuvent être prises dans des temps réduits.

### 2.3.2.3 Amélioration de la participation

La timidité et la crainte d'être mal jugé par le supérieur hiérarchique, constituent deux facteurs de l'absence d'une variété de bonnes idées des réunions traditionnelles.

Pour faire face à ce type de problèmes, les systèmes Groupware poussent les participants à intervenir aux activités de manière plus décontractée. Par conséquent, la possibilité de se protéger derrière l'anonymat fournie par les outils Groupware, permet de dissocier l'identité et les idées des intervenants. De plus, les réunions traditionnelles dégagent chez les participants le sentiment d'être pressés volontairement ou involontairement par le groupe en vue de s'accorder aux idées dominantes. L'anonymat conduit à plus d'autonomie et de franchise dans les commentaires et favorise donc des réunions plus productives.

#### *2.3.2.4 Structuration des activités de groupe*

La création d'un guide structuré du travail partagé constitue l'une des possibilités d'un Groupware. Par conséquent, il sera difficile aux intervenants de ne pas le suivre. De ce fait, chaque participant contribue de façon totale à l'achèvement d'activités structurées. La rétroaction de groupe, supportée par les outils Groupware assure une transparence sur l'état intégral des tâches en cours et avise implicitement chaque intervenant sur le progrès des activités partagées.

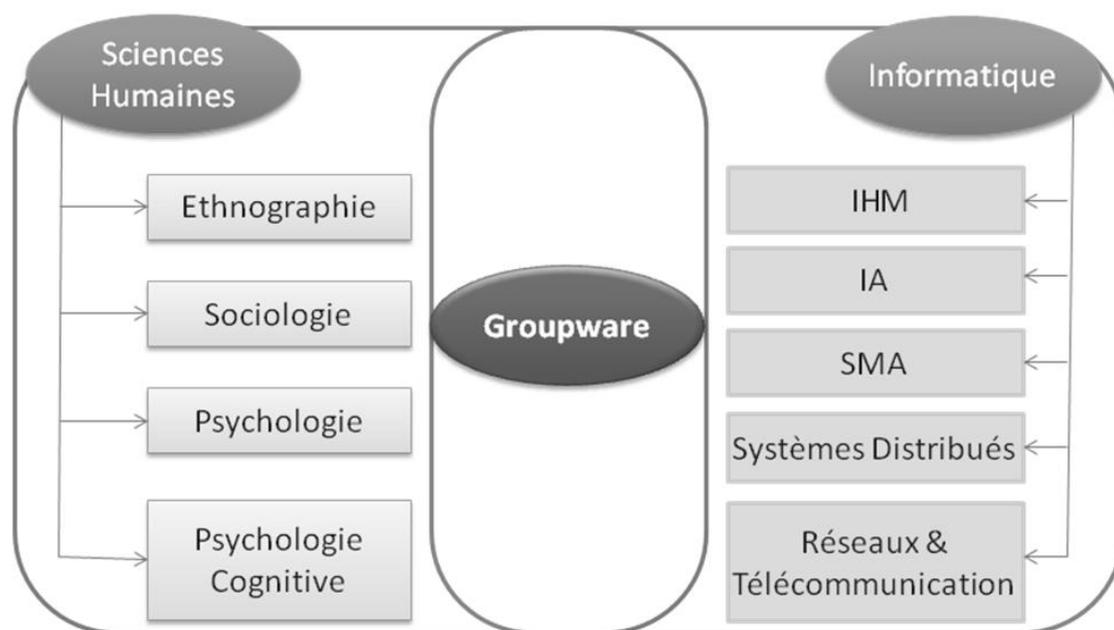
#### *2.3.2.5 Mémoire organisationnelle*

Avec les systèmes Groupware, toutes les informations sont sauvegardées de manière automatique et chaque participant peut interroger les informations saisies ou modifiées par les autres. Ceci crée une flexibilité telle que les collaborateurs peuvent attendre l'instant opportun pour participer au débat et ne risquent pas de *Perdre le fil* même s'ils sont interrompus par une pause durant la réunion. Dans cette logique, la contrainte d'établir après chaque réunion un procès-verbal n'a plus lieu d'être.

Ainsi, puisque les collaborateurs peuvent prendre le temps de réfléchir, de s'imprégner des commentaires d'autrui, la synergie de groupe en utilisant les Groupware devient plus forte que dans les réunions traditionnelles. Vu la possibilité de consulter à tout moment les documents partagés, la mémoire organisationnelle s'avérera précieuse surtout en cas d'oubli d'éléments établis pendant la réunion.

### 2.3.3 Pluridisciplinarité des outils Groupware

Les outils Groupware sont caractérisés par leur pluridisciplinarité impliquant un large éventail de compétences issues principalement de l'informatique et des sciences humaines.



**Fig 2.1.** *Pluridisciplinarité de systèmes Groupware*

### 2.3.3.1 Contexte des sciences humaines

Le facteur principal des échecs constatés lors de l’usage des outils Groupware de la première génération était du de la négligence totale des caractéristiques sociales, psychologiques et ethnographiques [MAR 90]. Pour combler les lacunes remarquées, les concepteurs d’applications collaboratives ont été amenés à travailler en collaboration avec des sociologues, des psychologues et des ethnographes afin de spécifier les besoins en termes de travail de groupe.

Dans la suite de ces sections, nous allons tenter d’expliciter l’apport de quelques domaines des sciences humaines pour la conception des systèmes Groupware.

#### 2.3.3.1.1 Ethnographie

Selon le dictionnaire Reverso, le terme ethnographie se définit comme étant un « *une science fondée sur l’étude descriptive des ethnies et des groupes humains.*» (<http://dictionnaire.reverso.net/francais-definitions/ethnographie>). Ainsi, une ethnie, à laquelle fait référence cette définition, indique un « *Décrit un ensemble d’individus unis dans une communauté de langage et de culture et dont les structures économiques et sociales sont proches.* » (<http://dictionnaire.reverso.net/francais-definitions/ethnie>). Il s’agit donc d’une science qui tient compte de l’analyse de la nature du travail et des relations dans des sociétés économiques et des organisations sociales.

Habituellement, les méthodologies appliquées dans le contexte des outils Groupware découlent à partir de l'ethnographie. Le développement de Groupware est réalisé en se basant sur le fait que les endroits de travail qui sont régis par des cultures distinctives [CHA 06, BAK 05].

Dans l'intention de cerner le comportement humain dans un environnement de travail visé, la majorité des ethnographes insistent sur l'importance d'analyser le contexte de ce travail. Cette analyse comprend généralement la combinaison des observations, des entretiens informels et d'intervention suite aux événements surgissant au sein de la communauté visée. Via ce rapprochement des individus du groupe analysé, les ethnographes dégagent une compréhension descriptive des comportements étudiés.

Les articulations des pratiques du travail de groupe sont éclairées par les méthodes ethnographiques, tout en se basant sur l'observation et l'étude des individus en état de travail. L'ethnographie appuyée sur l'observation des intervenants, se concentre sur la manière via laquelle les partenaires créent leurs compréhensions à partir de la tâche partagée avec les autres à travers des pratiques qui leurs sont familières.

L'accomplissement d'observations détaillées sur les activités dans leur contexte d'utilisation crée l'objet de l'ethnographie. L'intention est donc d'offrir des spécificités sur les pratiques à travers lesquelles le travail est exécuté. Par conséquent, il est faisable de spécifier les événements qui pourront apparaître, ainsi que de comprendre la façon dont ils sont traités. Nous pouvons également identifier la façon de partage et d'exécution du travail entre les différents acteurs du groupe et à quel niveau la technologie exploitée est capable de les assister ou comment se partage et se réalise le travail entre les différents membres du groupe [CHA 06].

Pour résumer, l'ethnographie participe à la fois à guider la conception du Groupware et contribue à l'évaluation du système durant le processus de son implémentation et pendant son exploitation par les usagers.

#### 2.3.3.1.2 Psychologie

Selon le dictionnaire Reverso, le terme Psychologie se définit comme « *Une étude scientifique des faits psychiques, des faits relatifs à l'esprit, à la pensée.* » (<http://dictionnaire.reverso.net/francais-definitions/psychologie>).

Une autre face de la dialectique sociotechnique du TCAO s'exprime dans les conséquences psychosociales de l'utilisation du Groupware. Les recherches fondées

sur l'analyse de l'impact des outils Groupware sur le comportement des êtres humains pénètre de manière excellente dans la science de la psychologie sociale. Dans cette vision, les études des conséquences psychologiques de l'usage des outils Groupware ont été, dans un premier temps, faites sur les systèmes de Communication Homme-Homme Médiatisés (CHHM) tel que l'email. Ces études ont révélé que les individus présentent une agressivité élevée par rapport aux autres moyens de communication. En effet, l'impolitesse ainsi que l'emploi des expressions inappropriées sont coutumières. Cela peut encourager la violence et affaiblir la cohésion au sein de l'organisation.

Pour résumer, nous pouvons conclure que les études psychologiques jouent un rôle primordial lors du processus de conception des systèmes Groupware. Par conséquent, leurs résultats sont directement répercutés sur les caractéristiques des outils développés.

#### 2.3.3.1.3 Psychologie cognitive

La compréhension et la spécification des mécanismes cognitifs impliqués dans les activités humaines constituent les objectifs principaux de la psychologie cognitive. Les apports de cette dernière présentent également des extensions de ces contributions dans le domaine des IHM. L'impact de cette science sur les outils Groupware consiste à apprécier la capacité de leurs interfaces à encourager la communication, la coordination et la coopération entre un groupe de participants [GRE 92b].

#### 2.3.3.1.4 Sociologie

Selon le dictionnaire Reverso, le terme Sociologie se définit comme « *Une science qui étudie les sociétés humaines et les faits sociaux* ». (<http://dictionnaire.reverso.net/francais-definitions/Sociologie>).

La sociologie fait partie des sciences humaines, elle peut avoir des repères de contact avec les autres sciences, telles que : la psychologie, l'anthropologie, etc., dans le but de partager avec ces sciences des objectifs d'études communs, ainsi que de monter des relations interdisciplinaires.

L'explication des comportements humains dans leurs environnements sociaux constitue le but essentiel de cette discipline. Elle s'intéresse beaucoup plus à l'analyse d'une variété d'objets à savoir les sujets traditionnels comme les dépendances

familiales, les idéologies, les croyances, les traditions, etc. Ainsi, en fonction des phénomènes sociaux ciblés qui forment une variété d'axes de recherches, plusieurs sous-disciplines de la sociologie peuvent être distinguées à savoir :

- *Sociologie industrielle*, qui tient en compte de l'organisation des processus de production ;
- *Sociologie économique*, qui observe l'organisation des tâches commerciales ;
- *Sociologie politique*, qui s'occupe des problèmes d'organisation des partis politiques et des systèmes démocratiques, les crises politiques, les relations internationales, etc. ;
- *Communication humaine*, qui forme l'objet d'études en sociolinguistique et en sociologie de la communication. Cette dernière s'occupe particulièrement de l'étude des médias et des TIC.

La réussite du travail coopératif peut se mesurer à la manière dont le Groupware mis en œuvre est apte à construire et maintenir une meilleure dynamique du groupe. Cela se traduit par le grand nombre d'échanges d'information. Le Groupware doit donc permettre de s'accommoder avec la séparation géographique des différents membres du groupe en collaboration. La coopération doit pouvoir se développer au moins aussi classiquement qu'en situation de *Coprésence*<sup>7</sup>.

Les nouvelles tendances basées sur la technologie permettent de conduire à une meilleure organisation du travail. Comme par exemple, l'efficacité du travail en groupe, engendrée par l'utilisation des nouveaux supports de coopération, de communication et de coordination entre interlocuteurs impliqués par un projet. Les mécanismes technologiques mis en place à travers les infrastructures informatiques et les outils Groupware, ne doivent pas perturber le travail coopératif ni la dynamique de groupe. Lors de la mise en place de ces outils, il faut donc avoir conscience que la dimension sociale est tout aussi importante que la dimension technique. Par conséquent, Les systèmes Groupware développés doivent être, conçus de façon à ne pas négliger les règles sociales gouvernant les organisations ciblées.

---

<sup>7</sup> Coprésence : Travaillant en même temps et en même lieu

### 2.3.3.2 *Aspects informatiques*

Les systèmes répartis constituent également la base de développement de tout système Groupware. Cependant, leurs caractéristiques distinctives permettent rarement de bénéficier de leurs privilèges. Le besoin d'une interface homme-machine réagissant rapidement aux événements utilisateurs, requiert la mise en place de mécanismes de contrôle de la concurrence adéquats. Ces mécanismes doivent être développés en se basant sur la sémantique du système, ce qui n'est pas le cas des approches adoptées par les systèmes répartis.

La réaction d'un tel système réparti dépend principalement du support réseau sur lequel il est implémenté. Du ce fait, les bénéfices en termes de débit de transmission et de protocoles de télécommunication influent de manière considérable sur les performances des systèmes Groupware.

Une autre facette de l'aspect informatique des systèmes Groupware tient en compte de leur dimension ergonomique. Par conséquent, vu l'interactivité et la répartition de tâches caractérisant les systèmes Groupware, la conception de leurs interfaces homme-machine constitue une tâche tout aussi délicate, coûteuse et longue. Ainsi, les évolutions technologiques, qui ne cessent d'accroître, amènent des possibilités de plus en plus sophistiquées que les programmeurs de logiciels tentent d'utiliser afin d'enrichir d'avantage leurs produits. Dans l'intention de permettre aux usagers de bénéficier de ces produits, les chercheurs ont révisé complètement leurs méthodes de développement d'interfaces homme-machine, impliquant de plus en plus l'utilisateur dans leur travail et assurant un échange effectif d'informations.

Dans le cadre du travail coopératif qui nous intéresse ici, l'interaction *homme-machine* et *homme-machine-homme*, entraîne de point de vue informatique le besoin d'assurer un accès rapide aux informations distantes. Les exigences en termes de coût de stockage des objets manipulés par les participants ont forcé les chercheurs à définir le concept d'espace de travail (*Workspace*). En fonction du travail qui les exploite, les ressources disponibles au sein d'un espace de travail sont adaptées pour réduire au mieux les charges cognitives des participants. Actuellement, la disponibilité de meilleures possibilités graphiques, ainsi que les métaphores explorées du monde réel permettent de faire évoluer significativement le domaine de l'interaction Homme-Machine et réaliser dans ce contexte une avance remarquable.

L'intelligence artificielle (IA) constituant l'un des axes de recherches les plus importants de l'informatique, qui consiste à intégrer à l'outil informatique des

fonctionnalités intelligentes. De plus, les recherches scientifiques sur les systèmes multi-agents (SMA), constituant un sous domaine de l'IA, ont connu un avancement considérable à propos des techniques proposées. L'IA et particulièrement les SMA jouent encore un rôle convaincant en termes de développement de logiciels informatiques assistant la coopération inter-participants. En effet, certains logiciels comme *Information Lens* ou *LIZA* [GRE 89] intègrent des agents intelligents, qui contribuent dans le groupe de temps en temps comme participants, afin de jouer des rôles spécifiques. Dans la boîte à outils *LIZA*, un agent baptisé *Liza* peut être connecté à une session de travail coopératif, sa présence dans le groupe indique que quelques règles entrent en jeu. La régulation d'un groupe, ainsi que la participation à un jeu, nécessitant un seuil minimal de nombre de joueurs participants sont ainsi assurées par des agents. Enfin, l'IA est souvent sollicitée par à travers la définition des agents dans le but de simuler des comportements humains.

### 2.3.4 Taxonomies Groupware

Un Groupware se compose d'une variété d'outils informatiques agissant en synergie. Ces outils peuvent être mis en place de manière séparée comme l'email, les forums, les agendas, etc., ou de façon globale comme ceux qui sont propres au travail collectif tels que : les éditeurs partagés, les jeux en réseau, les outils d'aide à la décision collaborative, etc. Plusieurs expériences ont eu lieu pour l'élaboration d'une taxinomie des systèmes Groupware. Toutes ces expériences ont proposé des modèles intéressants, dont il est difficile d'en favoriser un plutôt qu'un autre. Ils viennent ainsi se compléter plutôt que se controverser.

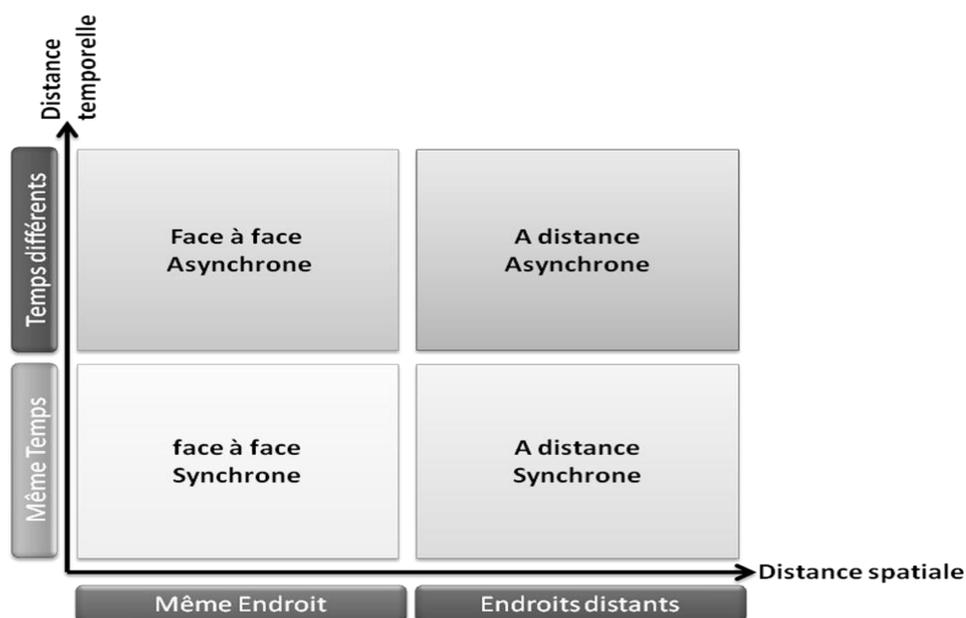
Certains aspects qui permettraient une classification des systèmes Groupware sont résumés dans ce qui suit :

- *Classification selon les modes de travail de groupe (temps/espace) ;*
- *Classification fonctionnelle (trèfle fonctionnel) ;*
- *Classification conceptuelle (trois univers conceptuels).*

#### 2.3.4.1 Classification espace-temps

Ellis a été parmi les premiers chercheurs qui se sont intéressés à la classification des systèmes Groupware. En effet, il proposa dans un premier temps, son modèle de classification basée sur les deux dimensions [ELL 91] : le *temps* et le *lieu* de participation (Fig. 2.2.). De ce point de vue, chaque Groupware peut être classifié

selon une matrice, dont l'axe vertical représente le *temps* et l'axe horizontal le *lieu*. Par conséquent, les aspects travail coopératif synchrone ou asynchrone sont déterminés en fonction du *temps*, ainsi que les aspects face à face ou à distance sont exprimés en fonction du *lieu*.



**Fig 2.2.** *Matrice espace-temps*

En s'appuyant sur le principe de la classification matricielle d'Ellis, Tarpin-Bernard [TAR 97] a proposé un autre modèle, dont il identifie quatre niveaux de coopération :

- *Coopération asynchrone*, l'action des intervenants sur les données se fait à des instants différents.
- *Coopération en session*, Dans ce niveau de coopération, les collaborateurs travaillent au même moment, mais de manière autonome. Autrement dit, qu'ils peuvent communiquer sans avoir partagé effectivement les objets de la coopération.
- *Coopération en réunion*, Contrairement à la coopération en session, la coopération en réunion permet la communication inter-participant, tout en partageant les objets de la coopération. L'attribution des rôles, en fonction de l'objectif global de la réunion, est d'une importance extrême dans ce type de coopération.

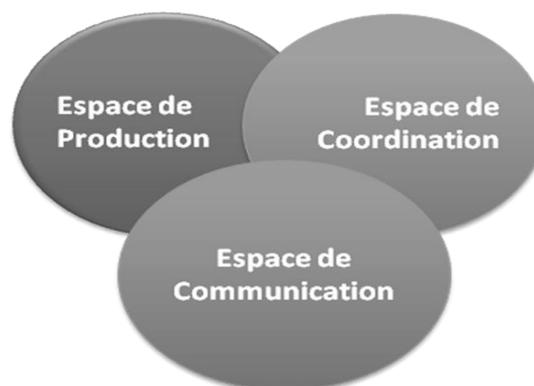
- *Coopération étroite*, dans ce niveau de coopération, les intervenants communiquent et manipulent en même temps les artefacts du projet partagé. Ainsi les conséquences des actions coopératives sont répercutées en temps réel sur les interfaces de tous les participants.

#### 2.3.4.2 Classification Fonctionnelle

Les systèmes Groupware peuvent être classifiés, selon Ellis [ELL 94] en fonction de trois modèles :

- Le *modèle ontologique*, qui donne une description claire des objets manipulés par le système, ainsi que les actions qui les manipulent ;
- Le *modèle de coordination*, qui tient compte de la spécification des activités des intervenants ainsi que les relations entre elles ;
- Le *modèle d'interface usagers*, qui s'occupe de la définition des interfaces de communication *homme-machine* et *homme-machine-homme*.

Compte tenu de l'implication de l'interface homme-machine par toutes les fonctionnalités du Groupware, la classification d'Ellis, citée précédemment, a fait l'objet d'une critique soulevée par Salber [SAL 95], qui adapta ce modèle en proposant une nouvelle variante (Fig. 2.3.).



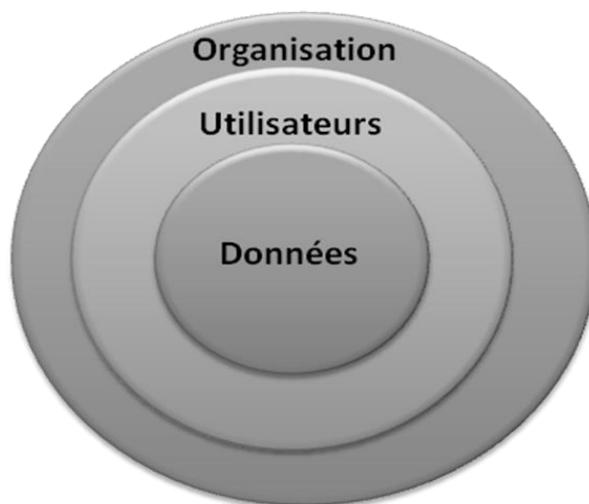
**Fig 2.3.** Trèfle fonctionnel des systèmes Groupware

- *L'espace de communication*, qui recouvre toutes les fonctionnalités relatives à l'aspect communication du système, ainsi qu'aux échanges d'informations ;
- *L'espace de production*, qui tient compte de la spécification des fonctionnalités manipulant les données partagées ;

- *L'espace de coordination*, qui s'occupe de la manière d'utilisation des ressources communes par les différents participants, ainsi que de l'aspect coordination des activités partagées à savoir : l'affectation des rôles, la spécification des droits d'accès, la répartition des tâches, etc.

### 2.3.4.3 Classification conceptuelle

Diaz *et al.* [DIA 98] a suggéré une décomposition du système Groupware en trois grands univers (Fig. 2.4.) : l'univers de données (*qui peuvent être des données en amont et en aval de la coopération*), des utilisateurs (*qui accèdent et manipulent les éléments de l'univers de données*) et l'univers de l'organisation (*qui structure les deux autres univers*)



**Fig 2.4.** *Univers conceptuels de la coopération*

Enfin, il faut préciser que les univers conceptuels définis permettent de spécifier une architecture logique pour la conception d'un système coopératif complet.

### 2.3.5 Téléprésence dans les systèmes Groupware

La définition du contexte, dans lequel se réalise le travail coopératif, constitue l'objectif principal de la conscience commune (autrement dit *conscience de groupe*). Cela peut se résumer par le concept de « *Téléprésence* ». La conscience de groupe (de l'anglais *Group Awareness*), à laquelle cette première définition fait référence, correspond à la compréhension que chaque membre du groupe a sur :(1) avec qui il collabore, (2) la tâche de chacun et (3) la façon dont les tâches de chacun interagissent

[DOU 92a]. Dans cette section, nous présentons le concept de conscience de groupe ainsi que le problème de surcharge cognitive.

### 2.3.5.1 Conscience de groupe

Dans un système réparti et particulièrement un Groupware, à la différence d'un système centralisé mono-utilisateur, plusieurs usagers peuvent manipuler en même moment les mêmes artefacts partagés [GOM 06]. Un participant dans un travail coopératif exploitant un Groupware, n'a pas spontanément compréhension des tâches d'autrui. Ainsi, afin d'accroître le rendement de collaboration, la conscience sur les tâches personnelles et collectives s'avère cruciale.

En d'autres termes, lorsque des participants collaborent en situation de coprésence, ils communiquent une variété d'informations, qui peuvent être implicites ou explicites. Ces informations avec lesquelles la notion de conscience de groupe se crée, permettent aux intervenants de connaître et de spécifier la tâche et la dynamique du groupe, ainsi que d'arranger leurs propres tâches par rapport au groupe afin d'assurer une bonne coordination. Initialement, cette notion de conscience de groupe a été définie par Dourish [DOU 92a] comme étant : « *la compréhension des activités des autres qui fournit un contexte pour l'activité propre de chaque participant.* ». Dans l'intention d'étoffer cette première définition, Tollmar a proposé en 1995 une autre explication, dans laquelle a mis l'accent sur les notions : de *présence*, des *objets* et du *partage*. En effet, Tollmar [TOL 95] considère la conscience de groupe comme étant le fait d' « *être conscient de la présence des autres et leurs accès aux objets partagés.* ».

Abordant toujours dans le même sens, d'autres chercheurs se sont intéressés au concept de coordination des activités de groupe. C'est ainsi que dans leurs définitions sur la conscience de groupe, ils ont utilisé le terme de coordination. A titre d'exemple, Beaudouin-Lafon [BEA 92], constate que : « *chaque utilisateur doit être conscient de ce que font ses collègues pour faciliter la coordination.* ». Enfin, sur la base de ces définitions, nous pouvons remarquer que la conscience de groupe reflète l'état mental d'un collaborateur et son comportement par rapport aux tâches collectives et vis-à-vis des autres participants.

Dans une situation de travail collaboratif à distance, l'absence de l'interaction face à face ainsi que le contact physique direct avec les objets partagés entraînent une carence de certaines informations, notamment les informations implicites (*le contact visuel, l'expression du visage, les gestes du corps, l'état psychique des participants, etc.*).

Pour faire face à ce type de problème dans le cas des systèmes Groupware, la solution consiste à trouver la manière de reconstruire la conscience par le biais de mécanismes informatiques adaptés. Il faut également préciser que l'utilisabilité du Groupware est d'une importance extrême et qu'elle dépend essentiellement du support de la conscience au niveau de l'interface [GUT 98, GUT 96].

En fait, les chercheurs scientifiques, travaillant sur les domaines du TCAO et de l'IHM, ont largement abordé la relation entre la conscience de groupe et les systèmes Groupware. Certains chercheurs se sont intéressés à l'apport de la conscience de groupe dans le contexte du travail collectif à distance [LIE 00, SOH 98, GUT 96, DOU 92a]. D'autres chercheurs, ont abordé dans leurs études, l'impact de la conscience de groupe sur l'efficacité de la collaboration [WEI 02], ainsi que sur l'aspect usage des systèmes Groupware [GUT 98, GUT 02].

En résumé, compte tenu des objectifs de notre travail de recherche, nous rapportons la définition de conscience de groupe qui nous semble être la plus appropriée et qui a été proposée par Dourish [DOU 92a] : « *La conscience de groupe est un aspect central pour une collaboration efficace, pour l'introduction et l'usage avec succès des outils Groupware.* ». Ainsi, dans notre travail de recherche exposé dans cette thèse, nous admettons l'hypothèse selon laquelle la gestion du concept de conscience de groupe dans un contexte de télémaintenance industrielle impliquant un groupe d'experts en collaboration permet d'améliorer leur rendement, assurer une communication riche et coordonner leurs actions de manière efficace. En effet, un niveau de conscience élevé permet à ces experts de structurer leurs tâches et parer toute duplication du travail.

### **2.3.5.2 Surcharge cognitive**

L'une des difficultés soulevées par le processus de mise en place des mécanismes de conscience de groupe au sein des systèmes Groupware, est la surcharge cognitive. La première définition de ce concept a été proposée par Conklin en 1987 [CON 87], qui l'a considérée comme : « *L'effort et la concentration complémentaires qui sont nécessaires à maintenir plusieurs tâches ou plusieurs parcours en même temps.* ».

Dans un travail collectif, il existe deux facteurs principaux qui entraînent ce type de problèmes. D'un côté, la grande quantité d'informations échangées et exposées aux participants surtout lorsque le groupe se compose d'un grand nombre d'intervenants ou bien de nombreux objets sont manœuvrés. De l'autre côté, le cerveau de l'être

humain est caractérisé par une mémoire limitée. Cependant, chaque participant du groupe doit interpréter et absorber toutes ces informations afin de construire sa conscience de groupe. Lorsque les participants se retrouveront en face d'un tas d'informations à traiter, ils peuvent subir une surcharge cognitive. Cela risque de générer pour chaque membre un état de stress et le contraindre à devenir plus sélectif au risque de perdre des informations pertinentes. Par conséquent, cette situation peut directement influencer sur l'efficacité du groupe.

Pour faire face au problème de surcharge cognitive, il est souhaitable de limiter les affichages des informations visualisées à chaque participant en centrant l'intérêt sur celles qui sont les plus pertinentes par rapport à sa tâche en cours. Ainsi, nous pouvons distinguer deux niveaux pour assurer le concept de rétroaction. D'une part nous utilisons des représentations graphiques facilitant l'interprétation des informations (*niveau visuel*), d'autre part, nous filtrons les informations reçues aux seules qui sont pertinentes (*niveau filtrage*). Il semble ainsi évident d'exposer l'information aux différents intervenants à travers les interfaces avancées en utilisant les couleurs, les icônes, les Gifs animés, etc. Ce type de présentations permet à chaque participant de capturer intuitivement le sens des informations de la conscience sans requérir beaucoup d'attention de sa part.

Finalement, malgré les efforts entrepris par les différentes approches, la conception d'un Groupware, et plus particulièrement, des mécanismes de conscience de groupe qu'ils intègrent, reste un problème complexe qu'il convient de bien prendre en charge en lui accordant toute l'importance qu'il requiert.

### 2.3.6 Développement des systèmes Groupware

Compte tenu du fait que les systèmes Groupware ont des particularités propres, impliquées à la fois par des considérations de la sociologie de groupe, que par leur spécificité Interactif/Réparti, leur implémentation s'avère une opération pénible, longue et coûteuse. Dans cette section, nous abordons et étudions les différentes approches qui ont été proposées pour la conception de ces systèmes. Nous abordons d'abord la problématique soulevée par le développement des systèmes collaboratifs avant de décrire et d'analyser les approches de développement appliquées.

### 2.3.6.1 *Problématique*

La mise en place des outils favorisant la collaboration et la communication ainsi que la gestion efficace des artefacts partagés constituent l'objectif partagé visé par les approches Groupware. En se basant sur le modèle du *trèfle fonctionnel* de Salber (§2.3.4.2), un système Groupware doit tenir compte des mécanismes de communication, de coordination et de production. De plus, la gestion des aspects humains induits par la collaboration ainsi que l'organisation du groupe qui constituent des spécificités de toute application de type Groupware doivent recevoir toute l'attention qu'ils méritent.

Par ailleurs, il faut préciser que la prise en considération des besoins des collaborateurs reste une tâche délicate. En effet, ces systèmes doivent souvent surmonter des obstacles relevant de leur utilisabilité et leur adoption de la part de groupes de travail effectifs [PAL 03]. Une autre contrainte concerne le comportement des individus au sein d'une équipe de travail, qui est dynamique et donc imprévisible. Par conséquent, de nombreux systèmes collaboratifs ayant négligé cette contrainte ont subi des échecs [HUM 00, GOM 06]. De ce fait, l'anticipation des exigences imposées par les participants en termes d'artefacts partagés indispensables à la collaboration reste difficile pour les designers des outils Groupware.

Dans ce contexte, Hummes [HUM 00] a constaté que le système collaboratif doit : « *Permettre la création et l'insertion de nouveaux modules et artefacts coopératifs* ». Suivant ce principe, il est vital pour les concepteurs de prendre conscience de la nécessité d'enrichir leurs outils par de nouvelles fonctionnalités, qui n'ont pas été prévues à l'avance, mais révélées par suite d'usage effectif du travail collaboratif.

En littérature, nous distinguons plusieurs travaux de recherches, comme [WAN 07, SHE 02, EDW 96, MAL 95, ROS 93a], qui ont étudié les possibilités de favoriser le concept de *Flexibilité* pour les systèmes Groupware. La flexibilité est considérée comme indispensable dans le domaine du TCAO [GOM 06]. En effet, la variété des besoins exprimée par les individus travaillant en groupe constitue la caractéristique fondamentale du travail coopératif. Ainsi, avec des outils de support plus flexibles, le travail de groupe révélera sans doute des réactions plus favorables de la part des usagers [GOM 06, KAH 00].

Les systèmes Groupware permettent d'assurer la coopération entre plusieurs participants dans un espace de travail partagé. Les différents participants exécutent alors des tâches concurrentes qu'il est nécessaire de prendre en charge. Notamment

en mettant en place des mécanismes permettant d'assurer la cohérence de l'espace de travail partagé et garantir ainsi la cohérence des visualisations graphiques affichées sur les écrans des différents participants.

Cette contrainte de cohérence, n'est pas dédiée exclusivement aux outils Groupware, les systèmes multiutilisateurs classiques, tels que les systèmes à temps partagé et les systèmes de gestion de bases de données (SGBD) sont tout aussi concernés. Par exemple, pour un SGBD, une solution simple pour remédier à ce problème peut être utilisée. Elle est fondée sur l'exclusion mutuelle pour départager les utilisateurs désirant modifier en même temps les mêmes données dans la base. Alors que les autres utilisateurs sollicitant le droit d'agir sur ces mêmes données devront patienter car l'accès leur sera refusé.

Cependant, contrairement aux systèmes répartis classiques, les problèmes soulevés par le traitement de l'incohérence de données sont moins complexes que ceux des outils Groupware. Afin d'être plus explicite, nous considérons, à titre d'exemple un tableau blanc partagé. L'émergence d'une situation exceptionnelle d'inconsistance comme par exemple le chevauchement de deux lignes disposées concurremment par deux participants avec des couleurs distinctes peut être tolérée. Cette situation qui n'est pas supportée par les systèmes classiques peut être désirée pour des applications collaboratives.

### 2.3.6.2 *Approches de développement*

Dans la littérature, de nombreuses approches de développement des applications collaboratives ont été proposées. Nous distinguons essentiellement : l'approche *Ad-hoc*<sup>8</sup> et celle utilisant *les boîtes à outils*. Dans la suite de cette section, nous allons expliquer les caractéristiques de ces deux approches tout en spécifiant les caractéristiques des systèmes résultants, ainsi que de leurs acceptabilités auprès des équipes de travail potentielles.

#### *Développement Ad-Hoc*

Le développement *Ad-hoc* concerne toute conception d'un nouveau Groupware sans aucune forme de réutilisation de composants. Autrement dit, ce type de développement n'intègre aucun composant assurant des fonctions générales ou

---

<sup>8</sup> Egalemeut appelé « développement *From-Scratch* » [GOM 06]

particulières. Le principal attrait de cette approche est quelle donne aux concepteurs des applications Groupware toute liberté à propos des choix de spécification, de modélisation et de mise en œuvre.

Compte tenu du fait que ces modèles soient fermés, ils constituent donc une base de développement de composants typiquement propriétaires qui seront intégrés au sein des applications Groupware. Cependant cette approche présente certains inconvénients comme par exemple, l'absence de standardisation, le manque de flexibilité et d'interopérabilité (§ 1.4.2). De plus, le fait de mettre en œuvre toute une application sans réutiliser de composants disponibles peut mener à une surcharge de travail et à accroître les coûts de développement de l'application.

Il faut cependant préciser que ce degré de liberté ne doit pas cependant amener à concevoir les fonctionnalités collaboratives de sorte qu'elles soient statiquement imbriquées dans l'application et engendrer ainsi une surcharge architecturale. Ceci est d'autant plus raisonnable que certaines de ces fonctionnalités peuvent ne pas être utilisées tout au long du cycle d'utilisation du Groupware. Actuellement, nous trouvons sur le marché des plateformes collaboratives, surtout dans le domaine commercial, qui ont été développées selon cette approche.

#### *Développement via des boîtes à outils*

Dans le but de réduire significativement la charge mentale de développement subie par les programmeurs des applications collaboratives, des bibliothèques mettent à leur disposition un cadre de développement tout à fait approprié. Ces bibliothèques sont constituées de composants logiciels qui sont accessibles aux programmes à travers des appels de procédures ou invocations de méthodes. Ces composants regroupés sous forme d'un package appelé : boîte à outils (*Toullkit*) prennent en charge la gestion de la distribution et des communications pour l'implémentation de systèmes Groupware.

L'approche fondée sur les boîtes à outils, comparée à l'approche *Ad-hoc*, présente le privilège de la réduction du coût de mise en œuvre, ainsi que la simplification et l'accélération du processus de prototypage de nouveaux systèmes Groupware [GOM 06]. Par ailleurs, l'exploitation de ces boîtes à outils permet la conception d'applications collaboratives diversifiées et adaptées aux exigences des usagers, tout en préservant l'homogénéité des produits résultants, surtout en termes d'interfaces

graphiques. Ceci facilite, en effet, leur usage, ainsi que leur acceptabilité par les collaborateurs [GOM 06, LAU 02].

Il faut noter que l'exploitation des boîtes à outils à caractéristiques plus générales, entrave souvent la tâche d'extensibilité et constitue donc un sérieux inconvénient. Par conséquent, pour pouvoir fournir plus d'opportunités aux programmeurs, il est nécessaire de leur permettre d'intégrer de nouveaux composants, implémentant de nouveaux comportements. Par conséquent, ces boîtes à outils risquent de devenir très volumineuses. Ceci entraîne alors plus de difficulté sur le plan de prise en main par les développeurs.

De plus, les boîtes à outils extensibles sont celles qui sont certainement bâties suivant une implémentation ouverte et même en *Open-Source*. En conséquence, les développeurs doivent avoir un niveau de compétences très élevé. Cela peut être décourageant étant donné qu'ils doivent bien connaître les politiques de mise en œuvre exploitées à l'intérieur du code source de la boîte.

Dans la perspective de répondre objectivement à la problématique de développement des applications collaboratives et réduire au mieux la charge associée, certaines boîtes à outils offrent quelques possibilités d'extensibilité. Ces possibilités s'appuient généralement sur le principe de *Classes Abstraites*<sup>9</sup> et *Génériques* définies par l'approche orientée objet. Ainsi, un programmeur peut facilement personnaliser ces classes et agir sur leur comportement.

La flexibilité et l'extensibilité ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche [DOU 00, SHE 04]. A titre d'exemple, *GroupKit* [GRE 04], est sans doute la boîte à outils la plus répondeuse dans le domaine du *TCAO*. Il s'agit donc d'un environnement de développement de systèmes Groupware à base du langage interprété (*Tcl/TK*).

Enfin, le développement des systèmes Groupware à travers les boîtes à outils a été très répandu au début. Cependant, cette démarche a été rapidement délaissée et les développeurs ont remarqué que ces boîtes à outils ne permettaient pas d'assurer la réutilisation et l'intégration de composants développés par des tiers [GOM 06].

Par ailleurs, les organisations telles que les entreprises économiques, éducatives, administratives, etc., ont connues des changements immenses ces dernières années.

---

<sup>9</sup> En programmation orientée objet, une classe abstraite est une classe "non instanciable" qui contient des fonctions virtuelles sans code. Elle sert juste de base à d'autres classes héritées.

En effet, le mode de travail fondé sur les structures hiérarchiques a été complètement délaissé au profit d'un travail basé sur des équipes collaboratives. C'est ainsi que de nouveaux besoins sont apparus, surtout en termes de conscience collective et de coordination, qui ne sont pas pris en compte par ces boîtes à outils.

Enfin, il faut préciser que dans le contexte qui nous intéresse ici, à savoir la maintenance industrielle, un effort de concentration important est imposé aux experts participants. Particulièrement, en faisant face aux problèmes industriels survenus sur les équipements industriels intégrant de nouvelles technologies complexes. Ces contraintes doivent ainsi requérir toute l'attention des experts, pour lesquels l'usage du système devrait être facilité autant que possible. Ainsi, le déploiement d'un Groupware en tenant compte des contraintes que nous venons d'évoquer ne peut exploiter effectivement les boîtes à outils disponibles aujourd'hui pour le développement d'applications collaboratives spécialisées telle que la notre. Par conséquent, nous avons adopté pour l'approche *Ad-hoc* pour la conception et la mise en œuvre de notre support collaboratif de télémaintenance industrielle.

## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir rappelé brièvement la définition du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur et quelques concepts fondamentaux, nous avons abordé la notion de Groupware. Ce terme, est employé dans le langage courant pour désigner des outils destinés à l'usage des groupes et définit une interface partagée. Initié en 1978 par *Peter et Trudy Johnson-Lenz*, le terme de Groupware définit une activité de groupe intentionnellement augmentée d'un support logiciel permettant sa réalisation. Nous avons explicitement centré notre intérêt sur des considérations techniques ainsi que les aspects liés aux sciences humaines afin de mettre l'accent sur la pluridisciplinarité de Groupware.

Notre étude au cœur du domaine du travail de groupe force l'émergence de certains concepts comme par exemple la *Téléprésence*, qui se décline sous trois formes [DIX 97] : la conscience de la présence des membres du groupe et de leur disponibilité dans le travail collaboratif, la conscience des actions réalisées par les membres du groupe et la conscience des effets consécutifs à ces actions. La notion de conscience de groupe, représentée par ces trois formes, permet de suivre les comportements de chaque intervenant au sein d'une équipe de travail. Par conséquent, afin de pouvoir travailler de façon collaborative au sein d'une équipe, il est nécessaire, d'un coté,

d'être conscient de la présence des autres membres, et de l'autre côté, d'être au courant de leurs tâches. De ce fait, nous avons clairement explicité la caractéristique fondamentale de conscience de groupe des systèmes Groupware, ainsi son impact sur le concept de surcharge cognitive.

Par ailleurs, nous avons abordé la problématique de développement des systèmes Groupware et discuté les principales approches proposées dans la littérature afin de faciliter le processus de mise œuvre de ces systèmes. Ces approches se distinguent en fonction de leurs capacités à permettre l'intégration de composants complémentaires, dictés par les nouveaux besoins imposés par l'usage des outils développés.

Enfin, nous avons tenté également de motiver notre choix en ce qui concerne le développement du support collaboratif pour la télémaintenance industrielle. A cet égard, nous avons précisé quelle s'appuie sur l'approche *Ad-hoc*, puisque les experts de maintenance génèrent des besoins spécifiques, surtout en termes de coordination et conscience de groupe, qui sont difficilement mises en œuvre via des boîtes à outils.

## **Chapitre 3 : Modélisation de la coopération pour la télémaintenance industrielle**

### **3.1 Introduction**

Notre travail de recherche est axé autour de la proposition d'un modèle permettant la télémaintenance coopérative des installations (équipements) industriels. Nous visons ainsi comme objectif principal de permettre non seulement au personnel de maintenance d'effectuer son travail à distance mais aussi de pouvoir le faire en collaboration étroite avec l'ensemble des experts impliqués. L'accent est particulièrement mis sur l'aspect de mobilité des membres coopérants (experts), et donc, sur les moyens de communication les plus adaptés. Cette solution innovante permettra d'accroître, entre autres, la disponibilité, la mobilité, le rendement, la qualité, et réduire de façon significative les coûts occasionnés par les défaillances et l'indisponibilité des équipements. Par conséquent, Nous nous placerons dans le cas de la maintenance externalisée, c'est à dire que la fonction de maintenance est effectuée soit par une entreprise externe qui peut assurer ce travail pour plusieurs

autres entreprises, soit par un service indépendant de l'entreprise qui peut intervenir sur les différents sites de cette dernière (entreprise étendue<sup>10</sup>).

Notre approche est fondée sur l'initiative de fournir aux experts et techniciens de maintenance un support informatique supportant la coopération et la collaboration autour d'une même défaillance industrielle. Nous nous intéresserons dans le cadre de cette thèse à l'étude de la dimension de coopération des experts, qui vise à mettre en place une solution réparatrice à un problème industriel posé. Pour faire face à ce type de problèmes, les experts doivent considérer plusieurs étapes, parmi lesquelles, nous distinguons celle du diagnostic. Notre étude centrée autour de cette phase s'appuie sur les travaux réalisés par [PEN 90] qui insiste sur la nécessité de disposer des connaissances sur les relations liant symptômes aux pannes. Par conséquent, nous entendons réunir les conditions technologiques de support afin de favoriser la construction collective des connaissances par les experts impliqués.

## 3.2 Approche de modélisation

Dans l'intention d'enrichir le secteur industriel, notamment le service de maintenance par de nouvelles solutions exploitant les TIC comme support de base, nous avons orienté notre recherche vers l'objectif permettant de tirer profit des solutions proposées dans le domaine de CSCW. Dans cette perspective, nous avons conçu un nouveau modèle de coopération spécifiquement dédié au support de télémaintenance industrielle. La dimension de coopération intégrée concerne le processus d'élaboration de l'expertise fondé sur la conjugaison des compétences. Cette section est consacrée à la description de notre modèle centré autour des dimensions : de coopération, d'utilisation, d'organisation, de coordination et de conscience de groupe.

### 3.2.1 Notion de compétence

La naissance de la notion de *compétence* (ou *expertise*) revient aux années 1970, elle a fait l'objet d'une polémique entre les actionnaires sociaux, afin de situer les relations de subordinations graduée et revendiquer la majoration du statut des ouvriers. Les

---

<sup>10</sup> Entreprise étendue: ensemble formé par une entreprise et l'ensemble de ses partenaires directs: clients, fournisseurs, prestataires, en considérant l'ensemble comme un tout intégré devant fonctionner comme une entreprise unique (<http://www.agrojob.com/dictionnaire/definition-Entreprise-etendue-3353.htm>).

débats ont défendus l'idée qui considère les *compétences personnelles* comme étant le facteur principal du rehaussement de ce statut y compris les prescriptions (*la carrière acquise dans le temps*). Par ailleurs, l'acquisition de cette *compétence* se fait par l'appropriation, l'utilisation et l'évolution des connaissances.

La caractéristique polysémie de compétence, a donné naissance à une variété de définitions, dont celle proposée par Ermine en 2001, qui la considère comme étant « *des connaissances en actions* » [ERM 01]. Aussi, Selon Perrenoud [PER 99], « *Une compétence est une capacité d'action efficace face à une famille de situations, qu'on arrive à maîtriser parce qu'on dispose à la fois des connaissances nécessaires et de la capacité de les mobiliser à bon escient, en temps opportun, pour identifier et résoudre de vrais problèmes* ». En effet, la compétence prend en compte le savoir-faire et l'expérience professionnelle et se réfère à un domaine bien déterminé. De plus, chaque individu dans l'entreprise est compétent dans un domaine spécifique.

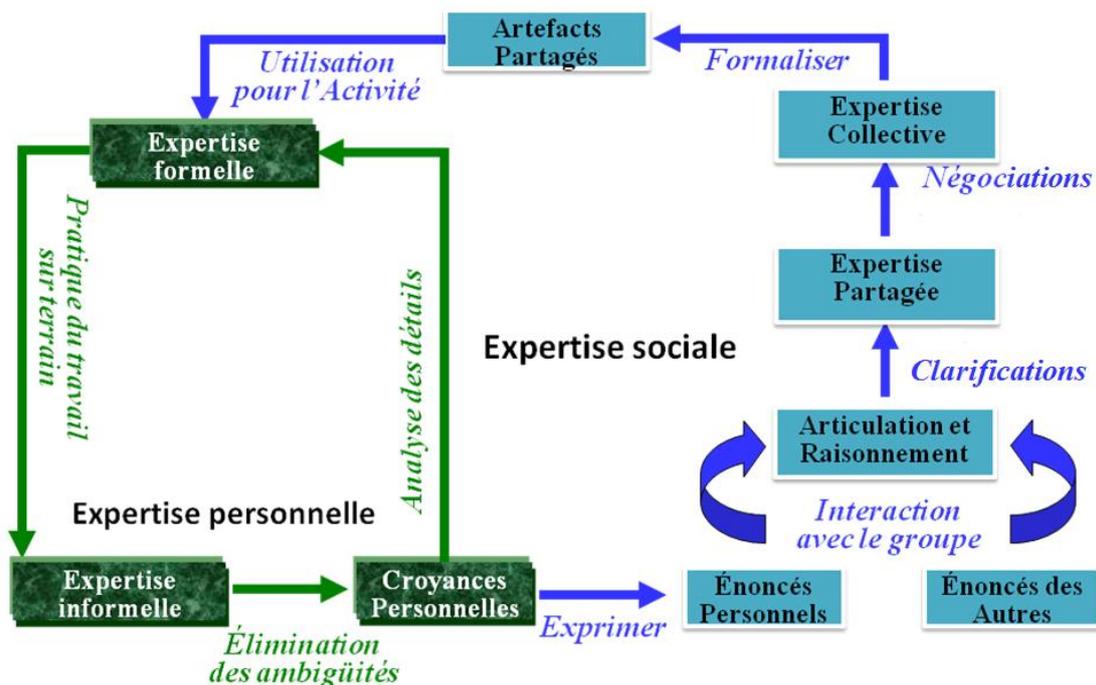
Par ailleurs, les entreprises et les organisations se sont toujours souciées des compétences, mais ce n'est plus de la même compétence dont elles ont besoin [LEB 08]. Ainsi, la compétence collective d'un groupe, au sein d'une entreprise, ne se borne pas à la somme des compétences individuelles de ses différents membres, mais dépend aussi de la coopération et de la synergie entre ces compétences individuelles.

En conséquence, la notion de compétence joue un rôle crucial dans notre approche de modélisation, ainsi que l'activité sous-jacente que nous avons appelé *Processus d'Elaboration d'Expertise* et qui sera bien explicité dans la section suivante.

### 3.2.2 Processus d'élaboration d'expertise

La Fig. 3.1 illustrée ci-dessous exprime l'étude que nous avons effectuée sur le processus d'élaboration collective de l'expertise dans le contexte de la télémaintenance industrielle. Cette étude est inspirée d'une ancienne expérience réalisée dans le domaine du travail coopératif assisté par ordinateur [STA 00]. Nous remarquons qu'un tel processus est principalement basé sur un effort personnel de l'expert (expertise personnelle). Ceci explique le fait que les approches classiques de télémaintenance aient principalement centré leur attention à fournir des outils d'assistance fondés sur l'usage individuel par les experts. Cependant, ces outils ne définissent aucun moyen pour répondre aux exigences spécifiques des activités collectives associées au contexte de télémaintenance.

En fait, nous partageons l'opinion des approches conventionnelles en ce qui concerne certains aspects du processus d'élaboration d'expertise, qui consiste à l'identifier comme une action intentionnelle personnelle. Cependant, nous complétons une telle vision avec les résultats de notre étude en montrant que le processus d'expertise est aussi enrichi par des échanges, des confrontations, des négociations et des interactions interpersonnelles. Le modèle montre explicitement les relations entre l'expertise personnelle et sociale. Il permet ainsi de comprendre comment on peut apporter significativement des améliorations au processus entier et fournir en conséquence des supports technologiques appropriés.



**Expertise informelle:** La somme des connaissances et savoir-faire acquises de manière autodidacte ou inconsciente.

**Expertise formelle:** La somme des connaissances et savoir-faire acquises pendant l'éducation, les emplois, la vie de famille et la vie en société.

**Fig 3.1.** *Processus d'élaboration d'expertise*

Nous avons adopté alors une approche de télémaintenance basée sur les concepts de TCAO, qui constitue à notre sens une évolution des environnements de support de la maintenance industrielle vers de nouveaux environnements construits sur la base d'espaces de travail partagés supportant la collaboration et permettant l'élaboration sociale de l'expertise. Nos contributions dans ce domaine nous ont menées à mettre en évidence les besoins vitaux de la télémaintenance collaborative, et à analyser le

processus d'élaboration d'expertise afin de répondre objectivement via les supports technologiques requis.

En conséquence, d'après le modèle décrivant le processus d'élaboration collective d'expertise illustré sur Fig. 3.1, nous définissons la télémaintenance collaborative comme étant : « *It is a process combining personal and social expertise achieved within a shared workspace providing supports to collaboration, communication, coordination, and negotiation among a group of experts working simultaneously and remotely on a common industrial failure.* » la traduction française donne ce qui suit : « *un processus combinant l'expertise personnelle et sociale réalisée dans un espace de travail partagé fournissant des supports de collaboration, de communication, de coordination et de négociation entre un groupe d'experts travaillant simultanément et à distance sur une défaillance industrielle commune* ».

Nous partons donc de l'étude du processus d'élaboration collective d'expertise pour tenter de répondre aux interrogations suivantes :

- *Avec quels moyens est-il possible d'améliorer le processus d'élaboration collective de l'expertise ?*
- *Quels sont les outils informatiques qui peuvent fournir l'assistance nécessaire aux experts ainsi qu'aux techniciens de maintenance ?*
- *Du point de vue strictement coopératif, quelles sont les caractéristiques particulières des activités collectives de maintenance ?*

Pour répondre de manière objective à toutes ces interrogations, nous avons décidé de centrer notre contribution sur plusieurs niveaux, notamment pour :

- *Identifier les différents acteurs impliqués par le processus de télémaintenance industrielle ;*
- *Étudier la dimension organisationnelle du processus de télémaintenance industrielle coopérative ;*
- *Étudier la dimension coopération et cerner ses besoins ;*
- *Étudier les dimensions de coordination et de conscience de groupe.*

### 3.2.3 Etude des acteurs

Notre travail de recherche décrit dans cette thèse se focalise sur le télétravail coopératif synchrone dans un contexte industriel, notamment celui attaché à la maintenance des équipements industriels. Ce mode de travail permet de réunir

virtuellement un groupe d'experts de maintenance géographiquement dispersés autour d'une même défaillance. Nous visons également à mettre à la disposition de ces experts un système Groupware, intégrant une variété d'outils conviviaux et flexibles, assistant la coopération et la collaboration avec le minimum de contraintes possible. Par conséquent, notre approche basée sur la conception d'un espace de travail partagé permettant aux différents participants de rejoindre des sessions de travail coopératif et de travailler de façon coordonnée. Une fois en session de travail, ils peuvent élaborer des solutions réparatrices aux différents problèmes industriels survenus sur le matériel du parc industriel de l'entreprise.

Dans le but de modéliser les tâches coopératives d'un groupe d'experts, il est avéré qu'une analyse des systèmes industriels est d'une importance extrême. Cette analyse nous a menés à étudier particulièrement les différentes possibilités organisationnelles qui peuvent convenir aux tâches de télémaintenance. En effet, nous avons proposé une organisation [HED 08b], qui repose également sur la mise en place de quatre composants élémentaires :

- *Un outil de support des activités coopératives appelé CSITM ;*
- *Les sites à maintenir ;*
- *Un technicien de maintenance localisé sur le site à maintenir ;*
- *Un groupe d'experts coopérants géographiquement séparés.*

L'architecture retenue pour CSITM se base principalement sur deux composants :

- *Centre de compétences (d'expertise) ;*
- *Groupware synchrone (GroupMain).*

Le centre de compétences [HED 07b, HED 08a], est un serveur qui se charge de la gestion des groupes d'experts (construction, destruction, organisation des groupes, etc.), de la gestion des requêtes d'intervention et de l'organisation des réunions de coopération. *GroupMain* est un système Groupware permettant à plusieurs personnes de travailler ensemble afin de réparer une défaillance industrielle.

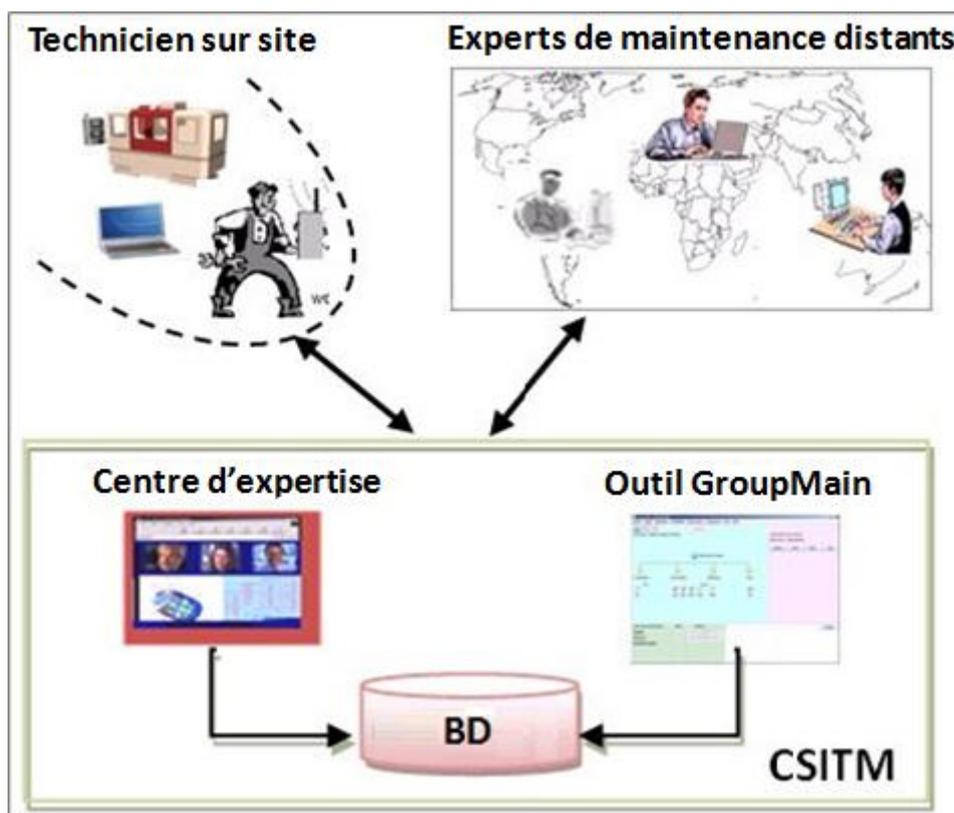


Fig 3.2. Architecture de CSITM

### 3.2.3.1 Site à maintenir

Par souci de rester compétitif et faire face à la concurrence, les entreprises de fabrication doivent exploiter économiquement leurs sites de production avec le triple souci de sécurité des opérateurs, de qualité du produit et des performances des équipements. Dans la modélisation que nous avons proposée, un site représente toute entreprise équipée de machines industrielles, qui sont contrôlées par des opérateurs. Un opérateur s'occupe généralement des tâches traditionnelles d'entretien, de vérification du fonctionnement, etc. Cela reste insuffisant pour un système de production et la fonction de maintenance doit avoir une dimension encore plus importante. En effet, elle doit assurer en permanence la disponibilité du matériel, stabiliser la qualité des produits, contribuer à la réduction des incidents, etc. Dans cette perspective, la présence d'un technicien de maintenance dans une entreprise de fabrication s'avère très importante. C'est à ce technicien qu'incombe la tâche de supervision du travail des différents opérateurs devant intervenir en cas d'incidents. Le technicien constitue donc pour notre approche de modélisation un

partenaire primordial, auquel nous définissons une entrée au niveau de l'interface partagée afin d'interagir avec les experts de maintenance désignés.

### **3.2.3.2 *Technicien de maintenance***

Dans un atelier ou usine, un technicien local de maintenance occupe une place utile. Il se charge de la vérification des matériels, des mesures électriques, des contrôles des vibrations de moteurs, etc. Sans oublier qu'il s'occupe aussi des interventions prévues par le planning élaboré par les experts de maintenance : remplacement de pièces et de composants à usure rapide, nettoyage et graissage des systèmes mécaniques, etc.

Dans le modèle que nous avons proposé, le technicien local assure les vérifications techniques des matériels industriels ainsi que la détection des défaillances. Lors de cette dernière tâche, le technicien tente de réparer la panne avec les moyens locaux de l'entreprise dont il dispose. Néanmoins, compte tenu de l'émergence d'équipements industriels de plus en plus sophistiqués et intégrant des technologies complexes, cette tâche reste souvent difficile à accomplir par l'intervention du technicien seul.

En effet, souvent la réparation de ces équipements requiert le recours à plusieurs expertises de différentes spécialités. Cependant, le déplacement sur site des experts requis aux moments opportuns reste généralement incertain. Pour faire face à ce problème, nous avons conçu notre modèle en intégrant carrément le technicien local en tant que partenaire à part entière du processus collaboratif de maintenance. C'est ainsi que le technicien local fournit aux experts distants, le moyen d'agir à distance sur l'équipement défaillant. C'est le technicien qui est donc chargé d'exécuter localement le planning de réparation élaboré conjointement par les experts.

### **3.2.3.3 *Groupe d'experts coopérants***

Un groupe est un ensemble d'individus défini sur la base de caractéristiques sociales communes (âge, sexe, métier, organisation, etc.). Le sens général exprimé par cette définition constitue la base sur laquelle nous avons fondé notre définition, qui s'adapte parfaitement au contexte de notre travail de recherche décrits dans cette thèse. En effet, un groupe représente « *un ensemble d'individus géographiquement répartis qui participent à la réalisation d'une tâche commune.* ».

Le travail coopératif de télémaintenance ainsi que les activités de groupe associées sont organisés en sessions de travail. Une session repose sur la participation d'un groupe de collaborateurs partageant des intérêts communs. Ils participent au travail indépendamment de leur location à travers la manipulation des données partagées à l'aide des outils de coopération disponibles.

Selon [DIA 98], Un groupe peut être *actif* ou *passif* (s'il existe un échange de données entre ces membres ou pas), *dynamique* ou bien *statique* (s'il existe des changements de rôles de ces membres pendant la coopération ou non), *ouvert* ou *fermé* (s'il accepte les interactions des membres externes ou non), groupe permanent ou à *longue* et/ou *courte durée* (cette caractéristique a une relation directe avec la tâche à réaliser), *déterministe*, *non déterministe* ou *anonyme* (les membres du groupe se connaissent, seulement quelques membres se connaissent ou alors ils ne se connaissent pas du tout).

En conséquence, le modèle proposé ici se base ainsi sur plusieurs experts humains de maintenance, qui sont organisés en groupes et caractérisés par :

- *Ils sont dispersés géographiquement dans le monde ;*
- *Ils forment l'équipe de maintenance à distance ;*
- *Ils peuvent être de différentes disciplines ;*
- *Ils possèdent une expertise à propos des installations sur lesquelles ils interviennent ;*
- *Ils sont capables d'analyser les données et d'en extraire les informations pertinentes pour assurer le télédiagnostic et la télémaintenance ;*
- *Ils possèdent des aptitudes leur permettant de collaborer et proposer des plans de réparation aux différents techniciens locaux.*

Notre démarche s'appuie principalement sur les concepts fondamentaux de dynamisme et d'ouverture contrôlée des groupes d'experts. Par conséquent, les experts peuvent échanger des informations et changer de rôle au cours d'une session de travail. De même que la taille d'un groupe peut varier au fur et à mesure que la tâche de maintenance progresse.

L'organisation des groupes coopérants a suscité l'intérêt de nombreux auteurs, donnant souvent lieu à des algorithmes ou des protocoles de gestion de groupe [SAI 06, SAI 05b, BOU 01, VIL 95, GRO 95, BON 90], qui ont centré leur intérêt sur les besoins des différents membres. Ceci est délicat à réaliser car les participants

gènèrent souvent des exigences diverses aussi bien au niveau individuel que collectif. Par conséquent, en ce qui concerne notre approche et compte tenu des études qui ont été réalisées, nous avons décidé d'adopter dans l'espace de travail partagé la stratégie organisationnelle suivante :

- *Les experts sont structurés en groupes hiérarchisés au sein desquels, chaque membre a un rôle bien défini ;*
- *Chaque groupe est composé de plusieurs experts qui travaillent en collaboration sous la direction d'un expert coordinateur ;*
- *L'affectation des rôles incombe au coordinateur en concertation avec les autres membres.*

Dans les travaux réalisés qui traitent de la construction des groupes dans le contexte d'un modèle coopératif, le facteur majeur pour la structuration des membres participants est souvent d'ordre sociologique. Dans un cas du télé-enseignement, par exemple, on attribue toujours au professeur le rôle de *Coordinateur*, cette structuration est la plus fiable et la plus efficace dans un cas où, la différence entre les coopérants est significative. Dans notre cas, on ne peut pas prendre ce facteur comme élément de structuration car tous les membres ont le même rang social. Pour cette raison, plusieurs auteurs ont considéré que l'aptitude de communication d'un membre le prédispose tout à fait à jouer le rôle de *Coordinateur* [BOU 01, SAI 02, SAI 05b, SAI 06]. Le choix du *Coordinateur* est décisif en ce qui concerne la supervision de la progression du processus d'élaboration de l'expertise en cours. Par conséquent, nous adoptons une stratégie d'assignation des rôles qui est flexible et qui repose sur une concertation entre les différents membres [HED 07a, HED 07b]. Autrement dit, chaque membre expert participant peut avoir le rôle de *Coordinateur* en fonction de l'étape d'expertise en cours et de l'influence de ses compétences sur cette dernière.

### 3.2.4 Dimension utilisation

L'exploitation de notre modèle de collaboration est essentiellement basée sur une organisation du travail bien déterminée [HED 08a]. Nous explicitons ci-dessous à travers la Fig. 3.3 un scénario typique d'utilisation détaillant le fonctionnement global de notre système.

Au départ, le technicien local détecte une panne industrielle sur un équipement. Des tentatives de réparation locale sont alors exécutées par ce technicien en collaboration

avec l'opérateur de la machine. Comme le niveau de compétence du technicien est limité, pas mal de pannes requièrent l'intervention des experts spécialistes en maintenance. Une requête d'intervention est envoyée alors au centre de compétences ou centre d'expertise. Ce dernier procédera à la désignation des membres experts devant intervenir, en fonction de leurs aptitudes et disponibilités, qui seront immédiatement notifiés. Les membres désignés organisent alors des sessions de travail pour solutionner le problème industriel posé.



(1) : Déclaration d'une panne industrielle; (2): Distribution de la tâche de maintenance;  
 (3): Elaboration d'un plan d'actions de réparation; (4): Rapport.

**Fig 3.3.** Scénario d'utilisation

Les experts désignés se réunissent virtuellement autour de ce problème en utilisant le système coopératif *GroupMain* (§ 3.2.5.). Ils essayeront, En effet, d'analyser l'état de l'équipement défaillant en se basant sur les informations fournies par le technicien local. Le processus de télédiagnostic se termine par la proposition d'une solution réparatrice au problème. Dans notre approche, la modélisation de la solution est concrétisée par un plan d'actions de maintenance (*PRA*) (Fig. 3.4).

### PRA of the pump

Phase 1 : Advices of repair		
Number of action	Logical Name	Description
1	Pump_Corps	the corps of the pump must be without pressure is empty
2	Organs_Of_Stop	all organs of stop of the aspiration conducts must be closed
3	Pieces_Temperature	all pieces must be to ambient temperature
Phase 2 : Disassembly of Unit-1		
Number of action	Logical Name	Description
1	Empty_Volute	empty the volute by the plug of draining
2	Drain_oil	drain the oil
3	Disassemble_Cache	disassemble the bolts of the cache

**Fig 3.4.** *Vue globale d'un plan d'actions*

Le travail de maintenance peut démarrer après et chaque expert viendra enrichir le travail et apporter son savoir-faire. Au cours d'une session de travail, les experts peuvent échanger dynamiquement des messages via *GroupMain* pour discuter à propos de l'état d'avancement du travail ainsi de ce qu'ils peuvent accomplir ensemble. Enfin, le groupe d'experts étudie le rapport renvoyé par le technicien décrivant explicitement l'état de la machine après l'exécution du planning de réparation élaboré par les experts.

#### 3.2.4.1 Construction du groupe

Cette opération nous permet de connaître l'identité des membres du groupe (le but de la coopération, structuration du groupe, ses caractéristiques, etc.), et les membres coopérants (rôle associé à chacun d'entre eux, son statut dans le groupe, etc.). Dans notre approche, la création d'un groupe est initiée par le centre de maintenance suite à une requête du technicien local [HED 07a, HED 07b]. L'envoi d'une requête signalant une panne ou dégradation entraîne la construction d'un groupe d'experts, en fonction de leurs disponibilités et de leurs compétences. Un échéancier est alors arrêté afin de solutionner le problème aussi rapidement que possible.

#### 3.2.4.2 Intégration des membres au groupe

L'insertion et la suppression des membres sont des opérations qui relèvent directement de la tâche de structuration du groupe, la première est réalisée à travers l'insertion directe d'un nouveau membre ou l'invitation d'un participant pour collaborer à un traitement en cours (recours à l'avis d'un spécialiste). La suppression d'un membre est exécutée lorsqu'un participant quitte le groupe (tâche achevée, assignation de nouvelles tâches avec d'autres groupes, indisponibilité, etc.). Ce choix

est particulièrement dicté par notre souci d’asseoir une certaine flexibilité autour de la construction des groupes. En effet, ces derniers sont définis sur la base de règles aussi bien sociales que celles relevant des compétences requises par la tâche en cours. Les différents membres se concertent via les outils de communication disponibles pour discuter à propos des questions relevant de la panne à traiter et des compétences requises pour faire face à cette dernière.

#### *3.2.4.3 Libération du groupe*

Un groupe est libéré dès que le traitement de la panne industrielle traitée est terminé. Cette opération est invoquée suite au rapport élaboré par le technicien local ayant constaté le fonctionnement de l’équipement dépanné [HED 07a, HED 07b]. Il faut préciser que la libération des membres du groupe sera automatiquement suivie par l’exécution des opérations d’archivage qui permettront de retracer au besoin le comportement des équipements et dresser les bilans statistiques associés.

### 3.2.5 Dimension coopération

En dépit du fait que les experts soient géographiquement éparpillés ou ils travaillent en mode asynchrone, ils doivent être informés dans une certaine mesure au sujet de leur existence et de leurs actions mutuelles afin de pouvoir coopérer conjointement. L'une des tâches principales de tout système Groupware est d’offrir ces informations aux collaborateurs pour gérer le concept de conscience de groupe et permettre ainsi d’assurer la coordination de leurs actions mutuelles [CUM 03, DOU 92b, SCH 96]. De plus, la conscience de groupe des interfaces des systèmes coopératifs permet d’améliorer principalement leur dimension usage [GUT 96, GUT 98]. De ce fait, lors de la conception de ces systèmes, il faut donc prendre en charge le concept de conscience afin de renforcer d’avantage l’aspect usage de la collaboration.

De même qu’il faut préciser que les difficultés d’utilisation des systèmes Groupware proviennent surtout des extensions rapides engendrant des modifications sur les interfaces graphiques ou sur les traitements associés aux événements. Toutes ces modifications apportées à ces systèmes sont dues à la nature de la collaboration, ainsi qu’à la séparation entre les aspects techniques et les aspects sociaux lors de la phase de conception de ces systèmes [ERI 03]. En effet, ces deux aspects sont perçus sur le champ de l’application des règles de coordination, qui peuvent être à leur tour construites sur la base des normes sociales traditionnelles ou des revendications déclarées par les participants, ou des procédures décidées par les concepteurs de

systèmes Groupware. Lorsqu'il s'agit de la gestion des connexions inter-systèmes ou la gestion du parallélisme face aux données partagées, ces procédures ont un intérêt important.

Dans cette perspective, nous avons fondé notre démarche de modélisation de la coopération du support de télémaintenance sur la conception et la mise en œuvre d'un outil Groupware appelé *GroupMain* [HED 08b, HED 09]. Ce dernier permet à plusieurs experts en maintenance de travailler ensemble et de façon coordonnée autour d'un même problème industriel pour assurer un télédiagnostic et une télémaintenance.

Cet outil est également conçu dans le but de fournir un support d'interaction suffisamment flexible qui impose le minimum de contraintes aux experts. Ainsi, les phases du processus de maintenance collaborative (diagnostic, réparation et contrôle) prennent place naturellement sans qu'elles ne soient imposées, du fait que l'interaction repose sur un protocole associant à la fois les aspects sociaux et techniques.

En conséquence, notre travail de recherche est fondé donc sur la conception d'une interface pour *GroupMain* qui, tout en intégrant les contraintes techniques de son fonctionnement, n'appauvrissent pas trop la qualité des relations entre les experts. Ensuite, pour des raisons d'efficacité nous avons décidé d'intégrer les aspects sociaux d'utilisation, ainsi que les aspects techniques afin d'améliorer au mieux les dimensions de coordination et de conscience de groupe au sein de *GroupMain*.

De même que nous avons conçu l'outil coopératif *GroupMain* de façon à intégrer les styles de travail synchrone et asynchrone et tenir compte de la caractéristique de la maintenance qui implique le travail collectif et le travail individuel. De plus, lorsque nous accomplissons une activité collective, nous avons toujours besoin de savoir ce que font les autres membres de groupe pour agir et réagir en fonction des tâches réalisées et de leurs résultats. De ce point de vue, le groupe n'est efficace que s'il existe un esprit d'équipe qui s'appuie sur la conscience de groupe. Ce dernier concept est considéré comme un processus qui permet de faciliter la collaboration. Par conséquent, nous lui accordons une importance extrême afin de renforcer d'avantage le concept de coordination [GUT 96, DOU 96]. Dans la suite de cette thèse, nous reviendrons sur ces concepts fondamentaux avec plus de détails (§ 3.2.5).

En fait, l'une des caractéristiques principales du processus de conception de *GroupMain*, dont nous avons tenu compte concerne le niveau d'interaction avec

l'utilisateur. C'est ainsi que nous avons appliqué une décomposition du *PRA* en plusieurs phases indépendantes. Cette décomposition apparaît à l'utilisateur sous forme d'une structure logique à plusieurs niveaux explicitant les différentes phases du processus de réparation (§ 3.2.5.1.). La visualisation de cette structure permet aux experts d'interagir avec les objets du plan pour prendre connaissance de leurs actions mutuelles. Un outil de vote est aussi fourni aux experts afin de leur permettre de trancher ensemble sur certains points cruciaux et prendre des décisions collectives. Enfin, il faut également noter que le système *GroupMain* dispose d'un lien de communication audio pour faciliter la négociation, la collaboration et la coordination entre les experts et accroître la transparence autour de la tâche commune en cours de réalisation.

### 3.2.6 Dimension organisationnelle

Dans le domaine du *TCAO* la dimension organisationnelle des groupes coopérants est d'une importance capitale pour l'efficacité de la tâche collective à réaliser. Cette dimension organisationnelle a suscité l'engouement de nombreux chercheurs comme en témoignent les nombreuses études qui lui ont été consacrées [SAI 06, SAI 05a, BOU 01, VIL 95, BON 90]. Dans cette section, nous allons présenter les possibilités fournies concernant l'organisation du groupe d'experts ainsi que les différents modes de coopération fournis par le système *GroupMain*.

#### 3.2.6.1 Rôles des experts

Un groupe d'experts en maintenance est généralement régi en situation par des rôles et des procédures de communication et de compréhension mutuelle, qui lui confèrent des objectifs clairement définis [GUT 98]. Partant de ce constat, nous avons défini pour les experts les rôles suivants [HED 07a, HED 07b] :

- *Coordinateur* : Il a pour tâches d'organiser le travail, de décomposer le *PRA* en phases, d'attribuer les rôles selon les compétences et de les changer, de coordonner le travail, de vérifier que les délais sont bien respectés, etc.
- *Responsables* : Ce sont des participants désignés par le coordinateur pour superviser la progression du travail sur des phases spécifiques du *PRA*. Leurs privilèges sont restreints aux phases auxquelles ils sont affectés.
- *Membre expert* : Un membre expert est un participant qui peut consulter, modifier, suivre, enrichir les phases auxquelles pourra mettre en place son savoir-faire.

La majorité des travaux dédiés à l'analyse de la tâche dans le contexte des activités de groupes se sont souvent focalisés sur des bases théoriques. Ces bases consistent à exploiter la nature des activités collectives pour spécifier les fonctionnalités du système de support approprié. A titre d'exemple, nous pouvons citer parmi les théories les plus cotées celles de l'activité située [SAL 02], celles de cognition distribuée [HUT 95] et les études sur les mécanismes de coordination et le travail d'articulation [SCH 96]. Cependant, l'expérience a révélé que dans ce contexte, le savoir-faire n'est pas généralisable et que chaque théorie ne traite que des situations spécifiques et reste donc inadaptée aux autres situations.

La modélisation de situations supportant le travail de groupe dans un contexte de télémaintenance, requiert plus de flexibilité afin de pouvoir accompagner naturellement le déroulement du travail de diagnostic et maintenance des dégradations matérielles. Ainsi, durant leur travail, les experts doivent pouvoir naturellement changer de rôles et échanger dynamiquement les responsabilités sur les diverses phases du *PRA* partagé.

### ***3.2.6.2 Modes de coopération***

L'efficacité d'un modèle d'interaction coopératif se base principalement sur le choix de modes d'interaction naturels et avec un minimum de contraintes [ZID 02]. Le processus de maintenance industrielle coopérative est caractérisé par un enchaînement de phases au cours desquelles les participants travaillent individuellement ou collectivement. De même, pour favoriser l'échange du savoir-faire, il est nécessaire de permettre à un expert de s'inspirer du travail de personnes plus expérimentées ou d'autres disciplines. Dans cette logique, nous avons inspiré du travail de recherche de Zidani [ZID 00, ZID 02] pour définir à notre *Groupware GroupMain* les modes de coopération les plus adaptés au contexte de télémaintenance industrielle. Par conséquent, via *GroupMain* les experts participants peuvent agir sur l'espace de travail partagé selon les modes suivants :

- *Responsabilité individuelle* : Le *PRA* est décomposé en phases distinctes, chacune d'elles est manipulée par au moins un expert. Plusieurs experts peuvent obtenir le rôle d'élaboration du contenu d'une même phase, mais un seul d'entre eux aura la permission de modifier la phase à un instant donné.

- *Echange dynamique* : Pendant une session de travail, les experts peuvent échanger dynamiquement des phases. Un expert désirant intervenir sur une phase qui est bloquée par quelqu'un d'autre peut lui demander vocalement de la libérer.
- *Responsabilité collective* : Plusieurs experts peuvent travailler de façon synchrone sur la même phase en mode *WYSIWIS*<sup>11</sup> relâché [GRE 96]. Ce dernier forme une manière de partage de la vision plus naturel et plus souple que le mode *WYSIWIS* strict<sup>12</sup>. Les actions faites par l'un des experts sont vite affichées aux autres experts partageant la même vision.

Selon ces modes, les experts interviendront sur les différentes phases du *PRA* et la coopération tiendra sa place naturellement via l'élaboration ou l'enrichissement des phases déjà élaborées par les autres. La spécification du mode à appliquer sur une phase du *PRA* est décidée à l'unanimité de tous les experts participants. Cependant, l'exécution de cette tâche n'est réservée qu'à l'expert *Coordinateur*.

### 3.2.7 Dimension coordination et conscience de groupe

Selon [GUT 02], la conscience de groupe ou conscience collective constitue un moyen permettant à chaque membre de trouver implicitement des réponses aux interrogations qu'il peut avoir, comme par exemple :

- *Avec qui collabore t-il ?*
- *Que font les autres experts ?*
- *Où travaillent-ils ? Etc.*

En effet, les informations susceptibles de répondre à ces interrogations imposent aux différents collaborateurs d'avoir recours à des conversations pour comprendre ce qui se passe au sein de l'espace de travail partagé, de mieux organiser leurs actions et de permettre à un participant de prévoir les actions des autres. Le meilleur moyen de support utilisé relève du concept de rétroaction de groupe, qui traduit l'aptitude du système à rendre disponibles les informations adéquates sur l'activité collective pour l'exécution de la tâche courante. Au sein d'un espace de travail partagé, que se soit

---

<sup>11</sup> *WYSIWIS* est une abréviation de « What You See Is What I See » : Se dit d'une interface dont les utilisateurs ont exactement la même vue sur l'espace de travail partagé.

<sup>12</sup> Contrairement au *WYSIWIS* strict, le *WYSIWIS* relâché permet aux participants de ne pas avoir exactement la même vue sur l'espace de travail partagé.

en situation de coprésence ou à distance, les objets visuels peuvent être considérés comme une source riche d’informations de la conscience [HUT 95, IRM 06]. En situation de travail face à face, ces objets génèrent implicitement ces informations, cependant dans les systèmes Groupware, les informations de rétroaction de groupe doivent être rassemblées, transmises et affichées.

Afin de développer le support informatique approprié à notre problématique de télémaintenance industrielle et expliciter l’activité en cours dans l’espace de travail partagé entre les experts de maintenance, nous avons dégagé les principaux facteurs concernés par la notion de transparence. La table 3.1 résume les facteurs considérés ainsi que les questions que peuvent se poser les experts participants lors de l’utilisation de *GroupMain*.

N°	Facteurs	Questions des collaborateurs
1	Identités	Quels membres participent à l'activité en cours ?
2	Location	Où sont-ils ?
3	Disponibilité	Qui est présent en session ?
4	Tâches	Que font-ils ?
5	Rôles	Quel est le rôle de chaque membre participant ?
6	Compétences	Que sont-ils capables de faire?
7	Actions	Qu'est ce qu'ils ont modifié?
8	Phases	Sur quelles phases travaillent-ils ?

**Table 3.1.** Facteurs intéressés par la transparence au sein de *GroupMain*

Pour répondre de manière objective à toutes ces questions, nous avons décidé de concevoir *GroupMain* de sorte à intégrer des mécanismes coopératifs permettant de fournir aux experts les informations pertinentes sur leurs actions mutuelles dans l’espace de travail partagé. Dans la suite de cette section, nous allons expliciter les possibilités fournies à l’usager pour l’aider au mieux à contribuer pleinement à l’élaboration d’un PRA dans la situation d’une panne industrielle.

### 3.2.7.1 Participants présents en session

Un système Groupware de support de télémaintenance définit un espace de travail susceptible de réunir virtuellement un groupe d’experts distants. Ces experts disposent ainsi d’une opportunité pour travailler ensemble et échanger leurs

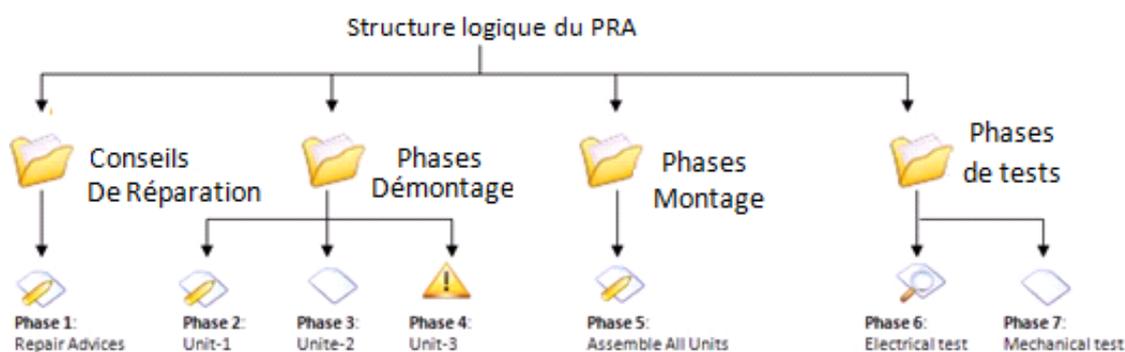
opinions à propos de questions spécifiques. Cependant, la disponibilité permanente des uns et des autres constitue une contrainte essentielle qu'il convient de tenir en compte. Par conséquent, nous avons décidé d'intégrer un gestionnaire de sessions permettant aux experts retardataires de rejoindre la session de travail courante, tout en mettant à leur disposition des informations sur la progression des tâches collectives exécutées pendant leurs absences.

### 3.2.7.2 Artefacts partagés

D'une façon incontestable, la tâche de coordination or système Groupware est également implicite. Elle reste perceptible uniquement via ses conséquences sur l'espace physique. Ces conséquences sont elles-mêmes perceptibles par les transformations et le déplacement des artefacts. De ce fait, la visualisation d'un protocole de coordination à l'évolution d'un planning de travail collectif, est également assurée à travers les artefacts partagés [SCH 96]. Ces artefacts sont indispensables aussi bien au travail synchrone qu'au travail asynchrone. En effet, ils peuvent être accessibles conjointement par les différents participants au sein d'une fenêtre partagée, comme dans le cas de *GroupMain*, nous affichons les artefacts partagés sous formes d'icônes associées aux différentes phases du *PRA*.

En utilisant *GroupMain*, la gestion du concept de conscience de groupe au sein de l'espace partagé est certainement assurée par la décomposition du *PRA* en phases auxquelles seront affectés des experts avec des rôles bien déterminés (§ 3.2.5.1). A titre d'exemple, dans la Fig. 3.5, nous distinguons les différentes phases de réparation préconisées par les experts, ainsi que les tâches qui les composent.

Cette décomposition doit apparaître explicitement au niveau de l'interface, et l'exécution des opérations associées au *PRA* est restreinte au *coordinateur*. Ainsi, pour déplacer une phase, la détruire ou en créer une nouvelle, l'expert autorisé doit solliciter le droit d'accès avant d'intervenir. Des notifications alertant tous les collaborateurs sont alors envoyées et la nouvelle version du *PRA* sera automatiquement délivrée à tous les experts participants.



**Fig 3.5.** Structure logique du PRA (LSPRA)

La Structure Logique du PRA (LSPRA) apparaît au niveau de l'interface comme une hiérarchie à plusieurs niveaux et peut être visualisée et manipulée par les experts. Chaque phase apparaît avec le nom logique que lui a attribué le *coordinateur*, par exemple : *Phase 2 : Démontage de l'unité de marche* (Fig. 3.5).

La Fig. 3.5 montre la structure logique d'un PRA avec ses différentes phases. Pour réduire les charges cognitives des participants, des icônes sont associées aux phases visualisées. Par exemple, l'icône sur la *phase 4* indique que son développement n'intervient pas pour le moment. Les *phases : 1, 2 et 5* sont bloquées par des experts en vue de leur élaboration, tandis que les *phases : 3, 6 et 7* sont à l'état libre, la *phase 6* est accédée en lecture alors que les *phases 3 et 7* sont fermées.

La LSPRA évolue de la même manière que le contenu de ses différentes phases. Les deux composants d'élaboration du contenu et de représentation de la structure s'appuient sur le composant de coordination pour gérer les interventions concurrentes sur les données partagées. Cette structure logique décrit le plan en cours d'élaboration tel qu'il est vu par les experts. Du point de vue technique, la présentation de la structure est essentiellement utilisée pour identifier des phases ou des positions dans le PRA. Son exploitation dans un environnement coopératif permet de coordonner et de synchroniser les actions des experts.

### 3.2.7.3 Communication vocale

Dans le contexte de télémaintenance industrielle, notamment la télémaintenance collaborative via des systèmes Groupware favorisant les communications multimédias, une problématique capitale est de pouvoir trouver la meilleure façon de fournir l'assistance aux experts *avant (en amont), durant et après(en aval)* les phases de travail collaboratif. Suivant une démarche fondée sur la communication, nous

cherchons à cerner au mieux les revendications des experts de maintenance vis-à-vis de leurs activités. L'assistance fournie « *en amont* » du travail des experts requiert de la part des techniciens des informations sur l'historique de fonctionnement de leurs équipements industriels avant l'apparition de pannes. Celle qui est fournie « *en aval* » suite aux observations des experts participants et qui peut s'avérer d'un apport important dans le futur en termes d'assistance « *en amont* ».

Selon l'optique de l'expert, cette boucle d'assistance est indispensable pour le bon fonctionnement du processus de maintenance. Nous centrons donc notre intérêt sur la phase située entre l'assistance fournie « *en amont* » et « *en aval* », autrement dit : *phase médiane*. En d'autres termes, nous nous intéresserons à cette phase exactement, plutôt qu'au début ou la fin du processus de télémaintenance industrielle coopérative. Cette phase médiane, nécessite de mettre en œuvre des moyens de communication efficaces afin de soutenir la collaboration.

Par conséquent, nous avons opté, en plus de la messagerie, pour la communication vocale. Ce choix est motivé par le fait qu'elle représente l'un des moyens les plus utilisés par les individus durant leurs collaborations. Cependant, le revers de cette communication consiste à veiller à ce qu'elle apporte immédiatement une assistance contextualisée. Autrement dit, nous devons comprendre effectivement « *comment assister les experts participants au moment opportun sans prendre le risque de les démotiver ou de briser le moteur de la communication ?* ».

Néanmoins, il est clair que pendant une communication vocale naturelle (*en face à face*), la donnée primordiale circulant entre les deux entités communicantes est le son. Dans le cas des systèmes Groupware, la question qui se pose, est de savoir si l'outil informatique est capable d'asseoir cette communication de façon à ce qu'elle soit très proche d'une communication naturelle. Actuellement, les moyens les plus utilisés dans le secteur industriel, comme le téléphone, peuvent être mieux exploités en remplacement. Cependant, leur efficacité de communication est principalement liée la qualité de propagation du son. En effet, nous assistons aujourd'hui à l'émergence de réseaux téléphoniques de plus en plus sophistiqués, surtout en termes de qualité de transmission.

La communication vocale, paradoxalement à la communication gestuelle, est le moyen le plus riche d'échange d'informations. Elle est donc presque inévitable dans le contexte d'un travail collaboratif synchrone. De plus, Tang [TAN 92] a prouvé que la communication vocale est plus importante que celle de la gestuelle pour soutenir

la collaboration humaine. Il a d'ailleurs recommandé aux systèmes Groupware de visioconférence, d'accorder plus de à la communication vocale par rapport à celle de la vidéo, surtout en cas de saturation du réseau.

Partant de ce constat, nous avons décidé d'intégrer au sein du Groupware *GroupMain* un canal de communication vocale [HED 09]. Ce choix est destiné afin de permettre aux experts collaborateurs de combiner la communication et la collaboration au sein d'un seul espace de travail partagé. Ainsi, nous pouvons introduire de façon naturelle les règles sociales, plutôt que d'imposer des contraintes au niveau du logiciel.

La communication vocale permet un contact direct, rapide et synchrone et les moyens matériels exploités sont relativement souples à utiliser. Il faut noter aussi que dans une situation de travail collectif, que ce soit en face à face ou à distance, un groupe n'est efficace que lorsqu'il est capable de coordonner les actions mutuelles de ses membres [CUM 03, DOU 92b, SCH 96]. En situation à distance (*virtuelle*), cette coordination nécessite la mise à la disponibilité des participants de moyens de communications efficace pour remédier au problème de séparation. En fait, de nombreux individus affirment qu'ils exploitent de manière considérable les informations implicites impliquées dans les conversations orales.

Par conséquent, l'intégration d'un mécanisme de communication vocale au sein d'un système Groupware nous semble pertinente, puisqu'il permet aux experts d'être conscients des tâches partagées en dehors des zones affichées et permet d'atténuer leur charge cognitive. De plus, il contribue à l'établissement d'une compréhension mutuelle inter-expert lors du traitement d'une panne et l'élaboration du *PRA* partagé explicitant les actions de réparation.

Par ailleurs, le mécanisme de communication vocale intégré à *GroupMain* constitue, sans doute, un moyen efficace pour assurer la coordination entre les différents experts participants ainsi que le support de la conscience de groupe. Les experts peuvent aussi lors d'une session de travail, interagir et coordonner leurs actions au travers de protocoles socio-naturels adaptés. Nous accordons beaucoup d'importance à ce sujet compte tenu des expériences acquises et des nombreux travaux qui ont été réalisés [BAR 04, ZAC 03, GRU 94, NEW 72]. Par conséquent, la conception de *GroupMain* a été pensée de sorte que la coordination ne soit pas totalement gérée par l'ordinateur, mais induite aussi par l'usage que font les participants des composants de communication. Autrement dit, si le système

constitue un excellent médium alors les utilisateurs sauront se coordonner eux-mêmes.

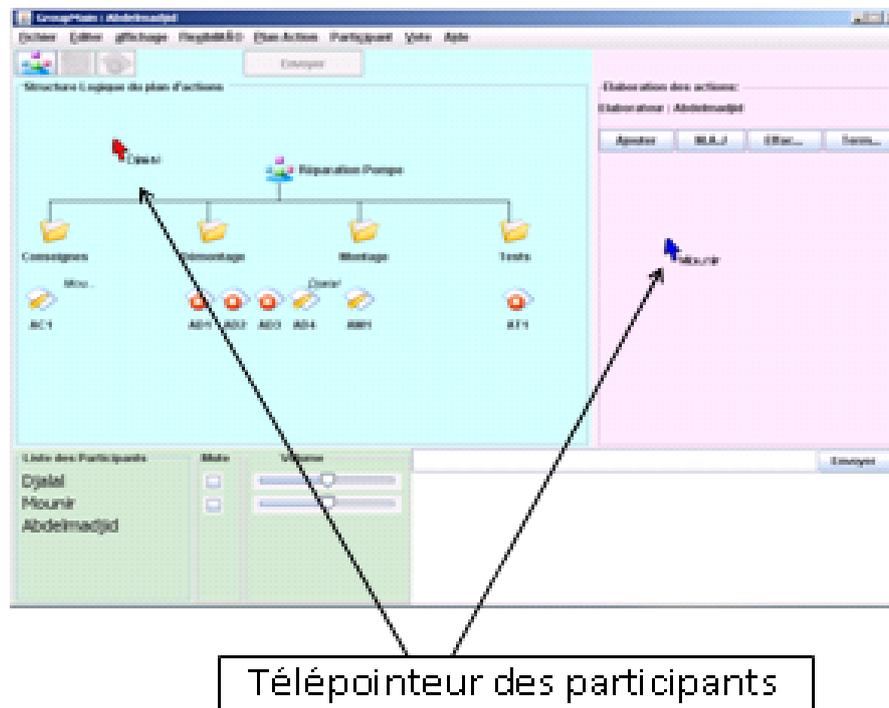
Le contrôle des accès concurrents sur les phases d'un *PRA* est basé sur le mécanisme d'exclusion mutuelle, il permet donc de bloquer la phase pendant son élaboration, tout en autorisant les consultations. Pendant la lecture de la phase, les experts sont notifiés qu'un autre expert est en train d'y travailler. En attendant d'intervenir, ils se contenteront de consulter la version courante tout en recevant immédiatement les modifications distantes (*mode WYSIWIS*), ce qui permet une certaine rétroaction au cours du processus de collaboration. Dans cette situation, les experts peuvent échanger des messages vocaux afin de renforcer de plus la coordination mise en œuvre par le mécanisme sous-jacent, de discuter sur l'état d'avancement du travail collectif, de négocier les blocages et déblocages de phases, de discuter de leurs tâches communes, etc. En d'autres termes, pour comprendre ce qu'ils peuvent faire ensemble, la stratégie appropriée, etc.

#### **3.2.7.4 Mécanisme de Télé-désignation**

Avec sa représentation graphique, chaque expert doit disposer d'un moyen de désignation à distance, perceptible au niveau de l'interface de ses collaborateurs, un *Télépointeur* [PRI 94]. Le télépointeur est un composant qui permet d'assurer incontestablement la conscience de groupe. Ainsi, la majorité des participants le considèrent comme étant a priori le moyen de communication le plus riche de l'interface, ce qui le prédispose particulièrement à favoriser le concept de *télé-présence* (§ 2.3.5).

A propos du télépointeur, nous reportons ici la recherche effectuée par Adam [ADA 05] qui a tenté de mesurer les effets du télépointeur sur la performance et la perception des collaborateurs impliqués dans un processus d'apprentissage à distance. Il conclut que le télépointeur représente un moyen efficace pour la rétention (*sauvegarde*) de la connaissance des apprenants. Ainsi, concernant nos objectifs, qui visent la mise en œuvre des moyens logiciels facilitant l'élaboration de l'expertise à distance dans le contexte de maintenance industrielle, les résultats d'*Adam* confortent bien nos intentions. Nous avons donc décidé d'intégrer au sein de notre Groupware un support de Télé-désignation. Pour cela, nous avons conçu *GroupMain* de façon à exploiter implicitement le télépointeur comme moyen d'indication du point d'action d'un expert dans le *PRA* partagé. Concrètement il est matérialisé par une simple flèche, indicateur traditionnel. Cet outil ne change pas de forme en fonction du

contexte et ne sera utilisé que pour désigner le point de manipulation des experts sur le *PRA* ou l'une de ses phases. Il faut aussi noter que l'identification du manipulateur du télépointeur dans les applications Groupware semble importante. En conséquence, nous avons associé à chaque pointeur une étiquette désignant l'identité du participant associé et une couleur spécifique pour le distinguer des autres (Fig. 3.6.).



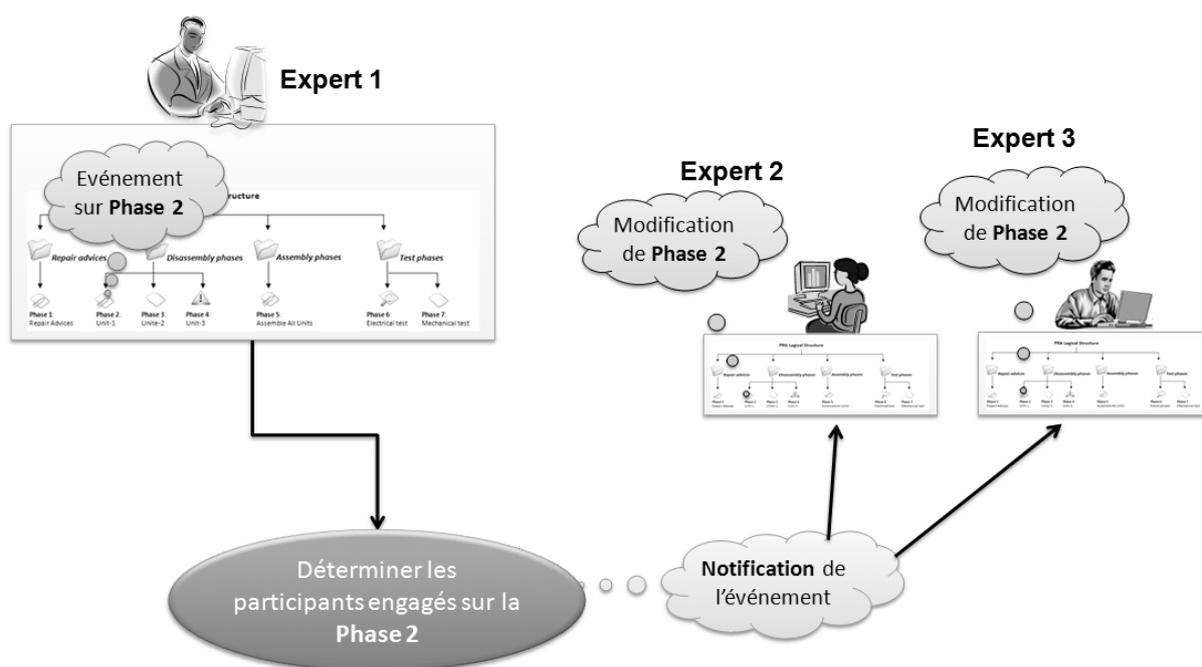
**Fig 3.6.** Mécanismes de télé-désignation des experts participants

Au niveau de l'interface, nous avons adopté pour *GroupMain* un système de fenêtrage et les télépointeurs associés aux différents experts sont systématiquement affichés sur les zones de travail partagés afin de refléter leurs positions arbitraires. De cette façon nous évitons les problèmes concernant la compréhension et le suivi des activités réalisées par les autres participants s'ils ne partagent pas le même champ de vision.

### 3.2.7.5 Notification des événements

L'une des approches les plus encourageantes dans le domaine du *TCAO*, est celle basée sur le concept de notification [WAN 07, PAT 96]. Cette approche permet de diffuser les changements d'état du système et permettre à chaque participant de prendre connaissance de ces changements. Cela permet sans doute de renforcer les

concepts de conscience de groupe [RAM 98] et de coordination. Ainsi, *GroupMain* adopte cette approche à travers l'association d'un mécanisme de notification d'événements aux différentes phases du *PRA*. Chaque expert participant peut solliciter le système afin d'être averti à chaque fois qu'un événement se produit au sein de l'espace partagé [HED 09]. Des engagements doivent être exécutés par les participants afin de recevoir les modifications effectuées sur des phases spécifiques du *PRA*, qui leur seront automatiquement transmises. A titre d'exemple, sur la Fig 3.7., l'événement produit sur la *phase-2* du *PRA* au niveau de la station de travail de *l'expert-1*, est automatiquement délivré aux autres experts désirant être notifiés à propos de cette dernière.



**Fig 3.7.** Notification des événements

### 3.2.7.6 Vote électronique

Un système Groupware peut être considéré comme un outil informatique d'aide à la décision collective. La décision collective favorise la variété d'interventions des différents membres du groupe. Il s'ensuit alors l'émergence de différentes opinions à propos d'un même sujet, de situations conflictuelles, etc. Face à ce type de problèmes, des outils basés sur les relations sociales, comme le canal vocal peuvent rapprocher les points de vue du groupe. Cependant, dans certaines situations, le

canal audio ne peut à lui seul résoudre tous les problèmes. Par conséquent, il faut penser à un autre moyen plus efficace.

Compte tenu de l'efficacité des outils de votes électroniques dans le contexte d'aide à la décision de groupe, nous avons décidé de l'intégrer au sein de notre Groupware *GroupMain*. L'outil de vote permettra aux différents experts participants de trancher ensemble sur certains points cruciaux et prendre rapidement des décisions collectives.

### 3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons explicité les détails de notre approche de modélisation de la coopération humaine pour la télémaintenance industrielle. Nous avons commencé par l'introduction des concepts de compétence et du processus d'élaboration d'expertise, afin de montrer leur utilité pour notre approche de modélisation. Nous avons ensuite exposé notre propre définition du concept de télémaintenance collaborative. Enfin, nous avons précisé le principe de notre stratégie de conception qui s'appuie principalement sur une étude discutée selon diverses dimensions à savoir : la dimension usage, la dimension organisationnelle, la dimension coopération, etc.

Notre modélisation fondée sur la mise en œuvre d'un système Groupware synchrone (*GroupMain*), assistant la collaboration entre plusieurs experts humains, afin de proposer une solution réparatrice d'une panne industrielle, concrétisée par la production collective d'un *PRA* qui sera exécuté localement par un technicien situé sur le site maintenu.

Le degré d'utilité et d'efficacité de ce Groupware constituent deux facteurs essentiels pour son acceptabilité par les usagers potentiels. Pour ce faire, il doit répondre à l'ensemble des points précités. Cela nous a conduits à définir une architecture logicielle capable d'accueillir les mécanismes supportant les concepts fondamentaux discutés précédemment. De plus, l'implémentation d'un système Groupware doit s'appuyer sur des choix techniques susceptibles de faciliter le processus de développement ainsi de prendre en charge l'aspect évolution du système. Dans cette perspective, le chapitre suivant fournira une description détaillée de l'architecture logicielle conçue ainsi que les différents choix techniques adoptés pour la mise en œuvre de notre système collaboratif de support de télémaintenance industrielle.

## Chapitre 4 : Conception et implémentation du modèle de coopération

### 4.1 Introduction

Le développement du prototype implémentant notre approche de modélisation requiert de prendre en considération plusieurs aspects importants concernant les choix techniques ainsi que l'architecture logicielle du système. Ainsi, pour mesurer objectivement l'efficacité de cette approche, nous avons développé une première version du prototype de notre environnement, qui est constitué des deux composants suivants :

- *Groupware GroupMain ;*
- *Système de gestion du centre de compétence.*

Ces deux composants sont également mis en œuvre selon une architecture à plusieurs niveaux, répondant au modèle *client-serveur*. Dans ce chapitre, nous discuterons d'abord le principe du modèle *client-serveur* que nous avons adopté en précisant les étapes essentielles impliqués par notre démarche de mise en œuvre (prototypage). Nous présentons ensuite les détails techniques adoptés pour l'implémentation.

## 4.2 Modèle client-serveur

Un système distribué est conforme au modèle *client-serveur*, lorsqu'il centralise un ensemble de services au niveau d'une station de travail afin de satisfaire ses clients potentiels. Le principe de fonctionnement de ce modèle s'appuie sur un réseau pour fournir ses services. Le dialogue repose sur l'émission d'une requête par un client, ainsi que la réception de la réponse renvoyée par un serveur (Fig 4.1.).

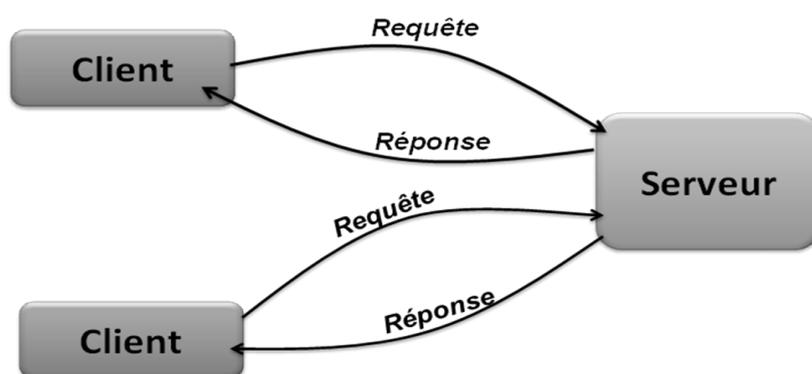


Fig 4.1. *Modèle client-serveur*

Le modèle *client-serveur* est un schéma d'interaction entre processus distribués. Dans ce contexte, deux catégories de processus sont impliqués, les *processus serveurs* et les *processus clients*. Le serveur s'occupe de la gestion des ressources, alors que les clients sollicitent l'utilisation de ces dernières. Par conséquent, un *serveur* dans le modèle *client-serveur* représente un fournisseur centralisé de l'ensemble des ressources dont il a la tâche de gestion.

Ce principe conduit dans certains cas, engendrés par des pannes au niveau des stations *serveurs*, à des situations de perte de requêtes envoyées par les *clients*. Afin de faire face à ce problème, une distinction est faite entre la notion de *serveur* et celle de *service*, qui peut être fournit par plusieurs *serveurs*. En effet, lorsqu'un *serveur* principal est indisponible celui de réserve prend place pour garantir le *service* requis.

Suivant ce principe du modèle *client-serveur*, sur lequel nous avons fondé notre implémentation du système CSITM, qui est composé d'un ensemble de stations *clientes*, et d'une station *serveur* assurant la disponibilité d'une collection de *services*. Ces *services* sont sollicités par des experts travaillant sur les stations *clientes* via l'échange de messages. Le *serveur* à son tour se chargera de transférer les réponses à leurs destinations par échanges de messages. Dans notre configuration, le *serveur*

fournit entre autres une variété de *services* qui peuvent être classifiés en deux catégories, les *services* assurant la gestion du centre de compétences, ainsi que ceux traitant la gestion de la communication, de la coordination et de l'interaction entre les différents experts participants.

### 4.3 Implémentation du centre de compétence

L'un des problèmes cruciaux soulevés par le processus de télémaintenance industrielle coopérative réside dans la disponibilité des experts participants. Ainsi, il est extrêmement délicat de faire participer plusieurs experts à des réunions de travail (en présentiel) autour d'un problème industriel (même endroit & même moment). Par conséquent, toute solution technologique permettant de surmonter l'obstacle de distance séparant les experts constitue sans doute l'un des facteurs principaux d'efficacité de tout système coopératif en télémaintenance industrielle.

De ce fait, le développement d'un système assurant l'organisation des sessions de travail coopératif constitue l'un des objectifs les plus importants des développeurs des technologies Groupware. Notre travail constitue donc une tentative pour répondre objectivement à cette problématique. Notamment à travers le développement du système de gestion du centre de compétences de *CSITM*. En effet, ce système qui est basé sur le scénario d'utilisation spécifique décrit dans le chapitre précédent regroupe plusieurs fonctions utiles telle que la construction et l'organisation des groupes, la spécification des délais et dates des sessions de travail, la transmission des demandes d'intervention aux experts, etc.

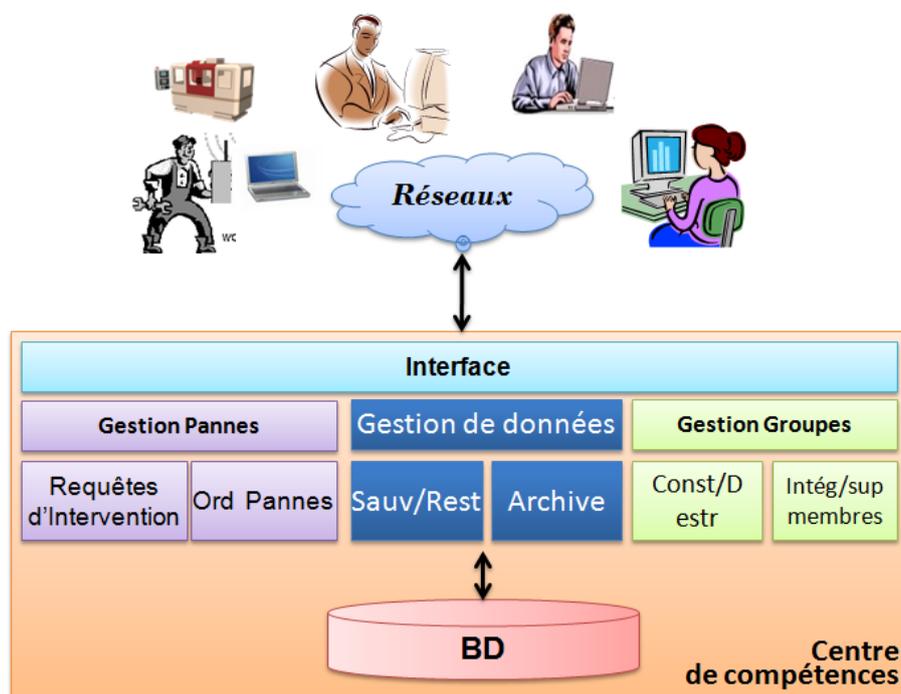
#### 4.3.1 Architecture logicielle

La configuration logicielle adoptée pour mettre en œuvre le système repose sur une architecture *client-serveur*. Elle est composée d'un ensemble d'outils conviviaux, qui sont faciles à utiliser pour les usagers potentiels, les experts traitant la panne et les techniciens qui sollicitent leurs interventions à distance sur les pannes rencontrées. Les experts disposent donc de moyens pour faire appel aux compétences nécessaires et les intégrer dans leur groupe lors de la réparation des problèmes industriels traités. Les techniciens quant à eux, disposent d'un nouveau moyen d'interaction leur facilitant de décrire explicitement les états de leurs équipements et les problèmes éventuels rencontrés pour le centre de compétences. Enfin, les firmes de fabrication d'équipements, trouvent ainsi un moyen efficace pour faire le suivi sur l'évolution de

leurs produits et décider des améliorations éventuelles à apporter pour rester compétitifs.

La Fig. 4.2 disposée ci-dessous, illustre explicitement l'architecture logicielle du système. Celui-ci incorpore les composants nécessaires à la gestion des groupes, ainsi que la prise en charge du travail coopératif et la gestion des pannes [HED 07a, HED 07b]. Cette architecture est constituée de trois principaux composants :

- *Un gestionnaire des groupes* permettant la construction et la gestion des groupes, l'intégration de nouveaux membres, la suppression des membres etc. ;
- *Un gestionnaire des pannes*, qui regroupe entre autres la déclaration, le traitement et l'enregistrement des différentes pannes détectées ;
- *Une Interface* permettant de dialoguer avec les différents utilisateurs du système, à savoir : les experts et les techniciens locaux.



**Fig 4.2.** Architecture logicielle du centre de compétences

#### 4.3.1.1 Gestion des groupes

Le module gestionnaire des groupes traite les opérations décrites dans notre approche modélisation (Chap. 3). Ces opérations sont entre autres : la désignation des membres d'un groupe, qui consiste à construire des groupes d'experts en leurs

affectant les tâches de télédiagnostic et de télémaintenance des pannes détectées. Ainsi, l'organisation de ces groupes, qui s'appuie sur l'affectation des rôles se base à son tour sur le choix des experts coordinateurs. Enfin, la libération des experts est une autre opération assurée par le module de gestion des groupes qui est déclenchée après l'achèvement du processus de télémaintenance.

#### **4.3.1.2 Gestion des pannes**

Le gestionnaire des pannes traite les pannes déclarées en fonction de la disponibilité des experts du centre de compétences. En effet, lorsqu'un traitement immédiat n'est pas possible à cause de l'indisponibilité des experts, la panne signalée sera mise en attente afin d'être traitée ultérieurement. Le gestionnaire des pannes s'occupe aussi de l'archivage de toutes les informations associées aux pannes considérées, tel que le PRA proposé et les experts impliqués dans le processus d'élaboration associé.

Ces informations peuvent être considérées comme une ressource utile pour la formation implicite des techniciens locaux en cas où, ils auraient à faire face à la maintenance de pannes similaires. En d'autres termes, la base de données collectée constituera à l'avenir une source d'informations pouvant servir comme support d'aide au diagnostic et à la maintenance ainsi que pour des études statistiques éventuelles sur le comportement des équipements du parc industriel de l'entreprise.

#### **4.3.1.3 Interface**

La dernière composante du système est un ensemble de menus déroulants. Elle est implémentée sous forme d'une interface interactive, qui permet à l'expert de répondre favorablement à une invitation pour contribuer dans le contexte de ses compétences et solutionner une panne industrielle. Ainsi, un expert peut intégrer un groupe avec des collègues et participer à des sessions de travail coopératif et apporter facilement son savoir-faire. Au niveau local du site à maintenir, le technicien dispose des possibilités au niveau de l'interface qui lui permettent en fonction de ses besoins de déclarer ses problèmes industriels (pannes) afin de bénéficier des expertises humaines distantes, exploiter des solutions à partir des cas de pannes similaires, etc.

La conception de cette interface est basée sur deux concepts fondamentaux. Le premier concerne la rapidité de réagir aux actions des experts, techniciens et administrateurs et le second vise à réduire au mieux leurs charges cognitives. Par conséquent, nous avons évité autant que possible de surcharger l'écran des usagers

afin de leur simplifier la tâche. Particulièrement, ceux qui ne sont pas habitués à utiliser les environnements informatiques.

### 4.3.2 Outils de développement utilisés

Lors de la conception de notre système global (*CSITM*), notamment le centre de compétences, nous avons tenu à ce que notre implémentation soit complètement indépendante de toute technologie spécifique. Nous assistons aujourd'hui à l'émergence de nombreux nouveaux langages de programmation, mettant à la disposition des développeurs de nouvelles technologies de mise en œuvre. Ceux-ci rendent parfois le choix d'un langage difficile lors de la phase d'implémentation.

Par ailleurs, vu que nos recherches visent à plus long terme, à adapter notre système au support de la télémaintenance collaborative sur Internet, nous avons ciblé nos choix techniques sur les outils orientés Web. Particulièrement en ce qui concerne la mise en œuvre de la première version du centre de compétences. En effet, parmi les types d'architectures envisageables nous distinguons entre autres : les *Applet Java*, *Architecture CGI*, *Architecture PHP/ASP/JSP/HTTP*. C'est sur cette dernière architecture que nous avons décidé d'asseoir notre implémentation. L'idée est également concrétisée par la mise en œuvre d'un serveur Web assurant les tâches du centre de compétences du système *CSITM*.

En fait, les nouvelles générations de serveurs web sont souvent caractérisées par leurs systèmes d'exploitation, leurs serveurs *http*, leurs langages de script et enfin leurs *SGBD*. Cet ensemble indissociable constitue une plate-forme d'implémentation idéale et prometteuse. Notre choix est particulièrement motivé par le fait que nous disposons avec les deux langages *PHP*, *Html* d'une grande souplesse pour satisfaire nos besoins et générer des pages web dynamiques adaptées à chaque utilisateur (Expert, technicien, administrateur).

Lors de l'élaboration du système, nous avons eu besoin de rendre persistantes les données manipulées par les différents usagers du système à travers leur sauvegarde. En effet, nous enregistrons les différentes informations concernant les experts, les équipements industriels, les pannes détectées, les groupes construits, etc. L'utilisation d'une base de données nous a semblé alors nécessaire. Toutefois, nous définissons des droits d'accès aux données ainsi que des fonctionnalités de gestion des accès concurrents. Nous avons donc décidé d'utiliser une base *MySQL* interrogée par des scripts écrits en *PHP*, ce qui nous impose d'utiliser l'une des compositions

suivantes : *LAMP* (pour *Linux Apache MySQL PHP*) ou *WAMP* (*Windows Apache MySQL PHP*). Enfin, compte tenu également du fait qu'en Algérie, le système d'exploitation le plus populaire est celui de la famille *Windows*, nous avons adopté la plate-forme *WAMP* pour notre travail d'implémentation. *WAMP* s'installe généralement par le biais d'un seul logiciel qui intègre *Apache*, *MySQL* et *PHP*, comme par exemple *EasyPHP*.

#### 4.3.2.1 Langage PHP

Le langage de script *PHP* (acronyme pour *Hypertext Preprocessor*), est surtout exploité afin de générer des pages web dynamiques à travers un serveur *http*. Il est souvent désigné beaucoup plus comme plateforme qu'un langage de programmation fondamental. Cela est dû à la consistance de sa bibliothèque. L'exploitation particulière de *PHP*, en tant que langage de script coté serveur, signifie que c'est le serveur qui interprètera son code, afin de générer du code *html*, qui pourra à son tour être interprété par des navigateurs coté clients. Le langage *PHP* est généralement installé sur un serveur *Apache*.

Dans un contexte d'utilisation Web, l'exécution du code *PHP* se déploie ainsi : lorsqu'un client ouvre une page web, son navigateur envoie une requête, sous forme d'une *URL* avec probablement un passage de paramètres, au serveur *HTTP* correspondant. (1). Le serveur vérifie d'abord si la page sollicitée est un script *PHP* ou une page statique (*html*). (2). Lorsqu'il s'agit d'une page dynamique, il invoque l'interprète *PHP* qui va traiter le code *PHP* et produire le code final de la page résultante (formé généralement de tags *html*). (3). Le serveur peut parfois transmettre des requêtes au *SGBD* (4) tel que *MySQL* par exemple, afin d'interroger des bases de données. (5). Le *SGBD* lui renverra ainsi les informations requises afin de compléter son traitement d'interprétation. Enfin, l'interpréteur produira une page web statique codée en langage *html*, qui est renvoyée au serveur *http* afin d'être délivrée au client (6). Le code *html* produit par le serveur peut être interprété via le navigateur du client (7). Ce schéma est explicitement décrit sur la Fig. 4.3 illustrée ci-dessous.



### 4.3.2.2 Serveur http

Les serveurs HTTP les plus utilisés sont :

- Apache HTTP Server de la Apache Software Foundation ([www.apache.org](http://www.apache.org)) ;
- Internet Information Services de Microsoft ([www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)) ;
- Sun Java System Web Server de Sun Microsystems ([www.sun.com](http://www.sun.com)) .

Selon le diagramme décrit sur la Fig 4.4., le serveur le plus populaire parmi ceux précités est, sans aucun doute, Apache HTTP Server, qui sert environ 51% des sites Web d'après Netcraft ([http://news.netcraft.com/archives/web\\_server\\_survey.html](http://news.netcraft.com/archives/web_server_survey.html)). De ce fait, notre choix a été porté sur ce serveur.

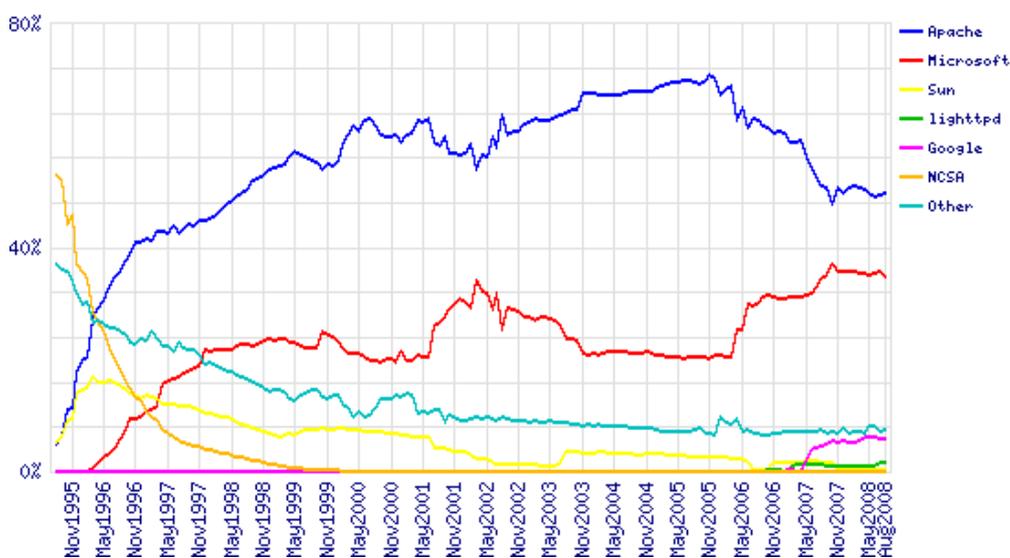


Fig 4.4. Diagramme d'importance d'utilisation des serveurs web les plus utilisés

### 4.3.2.3 MySQL

Les motifs essentiels qui nous ont amenés à favoriser MySQL comme serveur de base de données pour l'implémentation du centre de compétences sont :

- C'est un serveur de bases de données relationnelles permettant une manipulation de données très rapide via son langage (SQL), possibilité du multithreading, robustesse et multiutilisateur.
- C'est un logiciel libre.
- Il fonctionne sur de nombreuses plates-formes distinctes, incluant Linux, Mac OS, OS/2, Solaris, SunOS, Tru64 Unix, Windows 95, 98, NT, 2000 et XP.

Enfin, l'un des points forts de *MySQL* est sa large accessibilité par différents langages de programmation. En effet, les bases de données *MySQL* peuvent être interrogées en utilisant les langages *C*, *C++*, *Delphi /Eiffel*, *Java*, *Perl*, *PHP*, *Python*, et *Tcl* ; une *API* propre à chacun d'entre eux est ainsi disponible. Une interface *ODBC* appelée *MyODBC* est aussi disponible.

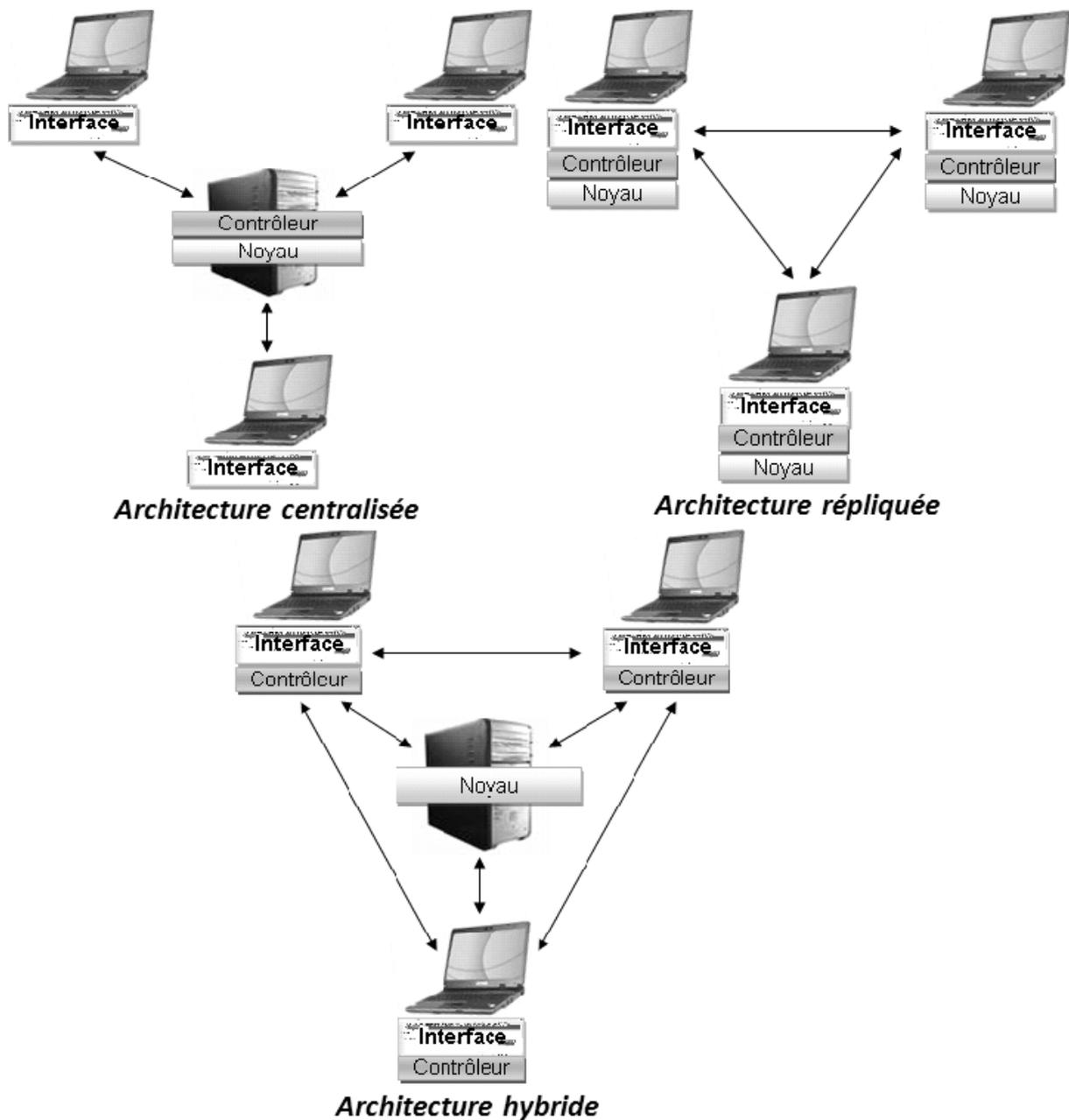
## 4.4 Implémentation du Groupware GroupMain

La mise en œuvre des logiciels interactifs mono-utilisateur pose encore de nombreuses difficultés, malgré les technologies qui ont vu le jour. L'implémentation d'un logiciel de type Groupware est encore plus pénible, puisque, il s'agit de gérer non seulement un mais plusieurs utilisateurs intervenants en même temps sur les données partagées.

Ainsi, le passage vers le support des groupes accroît la complexité de ce type d'application et complique d'avantage le développement des fonctionnalités associées. Par conséquent, toute solution susceptible de réduire cette complexité doit être prise en compte dans le contexte des applications Groupware. Dans cette perspective, la réduction de la complexité, le recours à la modularité, la simplification de la maintenance et l'évolution de systèmes Groupware nous ont amenés à séparer l'interface utilisateur du noyau fonctionnel. Cette initiative nous permet de construire notre système sur la base d'un modèle d'architecture flexible qui est caractérisé par un haut degré d'adaptabilité.

### 4.4.1 Architecture logicielle

A partir du modèle d'architecture classique qui décompose un système informatique en un noyau fonctionnel et une interface utilisateur, on différencie trois approches pour l'architecture des systèmes Groupware, que nous récapitulons schématiquement sur la Fig. 4.5.



**Fig 4.5.** Architectures des systèmes Groupware

*Architecture centralisée* — C'est celle selon laquelle une unique instance du noyau fonctionnel, ainsi qu'une autre du composant de contrôle de dialogue qui sont exécutées sur une station de travail centrale. Cette architecture présente principalement deux inconvénients, d'une part, toute panne ou isolation de la station centrale, implique l'arrêt total du système Groupware. D'autre part, puisque toutes les actions utilisateurs, ainsi que leurs conséquences sont transférées via le réseau, le

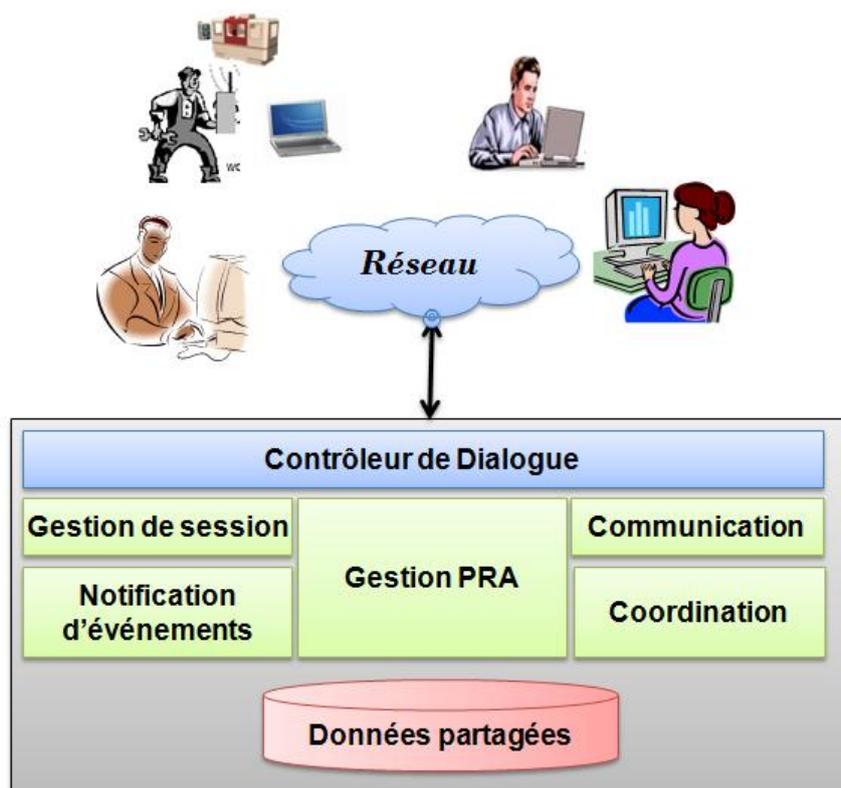
trafic d'information, que se soit en nombre ou en volume de messages, devient important.

*Architecture répliquée* — C'est celle selon laquelle chaque station de travail cliente exécute une instance du noyau fonctionnel, ainsi qu'une autre du composant assurant le contrôle de dialogue. De ce fait, les problèmes posés par l'architecture centralisée sont également résolus. Néanmoins, un autre problème lié à l'effort considérable fourni par les développeurs afin de mettre en œuvre un système via cette architecture, a été également soulevé. Ce type de problème est ainsi associé spécialement au besoin de mettre en place des politiques de gestion du parallélisme et de la cohérence de données plus complexes que dans le cas de l'architecture centralisée.

*Architecture hybride* — C'est celle qui s'appuie sur la combinaison des deux architectures précédentes. En effet, le noyau fonctionnel est mis en œuvre sur la station de travail centrale, alors que le contrôleur de dialogue est répliqué sur chaque station cliente. En fait, le noyau fonctionnel s'occupe de la gestion de la cohérence de données partagées, tandis que les divers contrôleurs de dialogue se chargent du contrôle des opérations indépendantes sur les différentes interfaces utilisateurs. Ainsi, l'architecture hybride élimine partiellement le deuxième inconvénient de l'architecture centralisée qui influe principalement sur la réaction de l'interface utilisateur. Par conséquent, les opérations non conflictuelles des utilisateurs participants sont exécutées sur la station locale sans passer par le noyau fonctionnel. Cependant, les opérations interrogeant des données partagées doivent toujours se faire via le noyau fonctionnel et doivent attendre son approbation pour qu'elles s'accomplissent.

Partant de ce constat, et pour des raisons de simplification et d'accélération du processus de développement de *GroupMain*, nous avons adopté le premier type d'architecture avec une structure organisée en couches (autrement dite *architecture centralisée à niveaux*) (Fig. 4.6). Le niveau le plus élevé représentant l'interface utilisateur, est chargé de la gestion du dialogue entre les participants et le système Groupware. Ensuite, le niveau contrôleur de dialogue, qui permet de réaliser le couplage entre l'interaction de l'utilisateur et le Groupware. En effet, Il intercepte, d'une part, les actions effectuées localement par chaque participant au niveau de son interface afin de les propager aux différentes autres interfaces distantes et récupère

d'autre part les changements distantes via le réseau pour les répercuter sur l'interface locale.



**Fig 4.6.** Architecture logicielle de GroupMain

Dans ce qui suit, nous allons expliciter en détails les différents niveaux de notre architecture logicielle, ainsi que les divers modules qui la composent.

#### 4.4.1.1 Contrôleur de dialogue

Dans les systèmes répartis, notamment les systèmes Groupware, la notion d'événement est primordiale. Dans notre architecture, les événements générés par les différents experts au niveau de leurs interfaces sont également interceptés par le *Contrôleur de dialogue* afin de les diffuser aux différents clients. De ce fait, toute action réalisée au niveau de l'interface utilisateur doit être traitée par le *Contrôleur de dialogue* central. Par exemple, un expert qui sollicite le droit d'intervention sur une phase spécifique du *PRA*, ne pourra le faire avant que le site central s'assure que tous les autres sites ayant modifié cette phase auraient validé leurs modifications et qu'il détient la dernière version afin de garantir la cohérence de données partagées.

Le *Contrôleur de dialogue* en tant que cœur du Groupware, collecte tous les événements qui sont générés au niveau des interfaces utilisateurs distantes. Puis, se charge des vérifications avant d'accorder l'exécution d'une opération sur des données partagées. Pour cela, il dispose de toutes les informations nécessaires pour accomplir les contrôles appropriés (*droits d'accès, priorités, état des phases : libres ou bloquées, etc.*). Le code suivant illustre l'interface de la classe implémentant le composant *Contrôleur de Dialogue* :

```
import javax.swing.*;
import java.rmi.*;
import java.rmi.server.*;
import java.net.*;
import java . rmi . RemoteException ;
import java . rmi . server . UnicastRemoteObject ;
import java.io.*;
public interface ControleurDialogInterface extends Remote{
// Attributs
.....
// Méthodes
public int getMonNumeroClient (String monPseudo) throws
RemoteException;
public int getNombreParticipant ()throws
RemoteException;
public Object getPseudo (int numeroClient) throws
RemoteException;
public void setMessageChat (int numeroClient,
String MessageChat) throws RemoteException;
public Object getMessageChat (int numeroClient) throws
RemoteException;
public String NouveauPlanAction (String nomPlan) throws
RemoteException;
public String AjouterPartie(String nomPartie) throws
RemoteException;
public String AjouterPhase(String NomLogiquePhase,String
DescriptionPhase,int NumPartie)throws RemoteException;
public String EnvoyerPlanAction(int
numClientEnvoyeur)throws RemoteException;
public String getNomPlanAction()throws RemoteException;
public int getNombrePhase ()throws RemoteException;
public int getNombrePartie ()throws
RemoteException;
public String getPartie(int numeroPartie) throws
RemoteException;
public int getNumeroPartie(int numeroPhase) throws
RemoteException;
public String getNomLogiquePhase(int numeroPhase)throws
RemoteException;
public String getDescriptionPhase(int numeroPhase)throws
RemoteException;
}
```

*Interface de la classe implémentant le contrôleur de dialogue de GroupMain*

#### 4.4.1.2 *Gestion de sessions*

La gestion de sessions est une tâche importante dans tout système Groupware. Elle permet en effet d'informer l'ensemble des participants sur la présence de leurs collaborateurs. Le module chargé de cette tâche tien compte alors de la gestion de connexions, de déconnexions des différents sites clients. De ce fait, chaque participant rejoignant le groupe, doit pouvoir accéder à l'espace de travail partagé en spécifiant son identité au système (*pseudo, mot de passe, couleur du télépointeur, etc.*).

Ces informations sont explicitement envoyées via le réseau au *Contrôleur de dialogue*, qui invoque à son tour le composant chargé de la gestion de sessions. Ce dernier doit signaler cet événement à tous les autres sites afin de préserver la cohérence de leurs interfaces. Chaque site distant, à la réception de cet événement doit mettre à jour son interface, tout en intégrant ce nouveau participant, qui vient de joindre la session de travail, dans la liste des participants.

#### 4.4.1.3 *Coordination*

En utilisant un système Groupware, les participants peuvent partager les mêmes objectifs. La collaboration autour de ces objectifs communs génère souvent des actions conflictuelles, surtout aux moments des accès aux données partagées. Dans l'intention de préserver la cohérence de données partagées, il est nécessaire de coordonner les activités des différents participants. Par conséquent, la *coordination* des actions mutuelles des participants constitue, sans doute, un facteur primordial d'efficacité de cette équipe [CUM 03, DOU 92b, SCH 96]. Dans une application de type Groupware, la *coordination* est une activité intégrante de l'assistance fournie au groupe. De ce fait, les membres du groupe doivent établir des communications afin d'assurer une bonne coordination.

Partant de ce constat, le mécanisme de communication audio intégré à *GroupMain* fournit un moyen efficace pour assurer la *coordination* entre les différents experts participants. Ils peuvent ainsi lors d'une session de travail, interagir et coordonner leurs actions au travers de protocoles sociaux naturels et adaptés. Nous accordons une grande importance à ce sujet compte tenu des expériences acquises et des nombreux travaux associés, qui ont été réalisés [BAR 04, GRU 94, NEW 72, YIM 03].

Par conséquent, la conception de *GroupMain* a été pensée de sorte que la *coordination* ne soit pas totalement gérée par l'ordinateur, mais induite aussi par l'usage que font les participants des composants de communication.

Aussi, les artefacts partagés constituent un autre moyen permettant d'accroître le degré de *coordination* et leurs effets sont répercutés au niveau des interfaces utilisateurs à travers des visualisations appropriées. En effet, *GroupMain* exploite la structure logique du *PRA* avec ses différentes phases comme des artefacts partagés. Ces derniers sont matérialisés au niveau des interfaces utilisateurs via des icônes, qui décrivent les états des phases (*bloquée, libre, etc.*).

Le *PRA* évolue dynamiquement de la même manière que les descriptions associées à ses différentes phases. Les deux composants d'élaboration du contenu et de représentation de la structure s'appuient sur le composant de *coordination* pour gérer les interventions concurrentes sur les données partagées. Enfin, les effets des opérations de *coordination* apparaissent explicitement aux utilisateurs au niveau de l'interface. Le blocage des phases du *PRA* et leur libération en sont un bon exemple.

La gestion des actions des experts sur les différentes phases du *PRA* utilise le concept de blocage (*Lock*). L'accès en consultation à une phase verrouillée est autorisé et les experts sont informés qu'un autre est en train de modifier cette dernière. En attendant d'intervenir, ils peuvent consulter la version courante tout en percevant immédiatement les changements distants. Cela crée une vraie rétroaction durant le processus de collaboration.

En résumé, toutes les activités explicitées dans cette section, sont assurées par le composant *Coordination* de notre architecture logicielle (Fig. 4.6). Ce composant est automatiquement invoqué par le *Contrôleur de dialogue*, à chaque fois qu'il est nécessaire de coordonner une action avec les autres. Il est mis en œuvre en tant qu'objet instancié par le composant de contrôle du dialogue. Chaque méthode de cet objet permet de coordonner les actions d'une situation particulière.

#### **4.4.1.4 Communication**

Le composant de « *communication* » spécifié sur l'architecture logicielle de *GroupMain* (Fig. 4.6) se charge alors de la transmission des flux continus impliqués par les messages audio échangés entre les divers experts participants. Le principe de son fonctionnement s'appuie spécialement sur les protocoles de transmission temps réel (*RTP*). Ce composant est totalement implémenté en utilisant un package sophistiqué, (*JMF : Java Media Framework*), développé par Sun [SUN 99] afin de faciliter la manipulation de données temporelles (*flux continus*) impliqués par les communications audio et vidéo. *JMF* constitue donc une architecture unifiée pour la

synchronisation, le traitement, le jeu de données temporelles à l'intérieur des applications indépendantes.

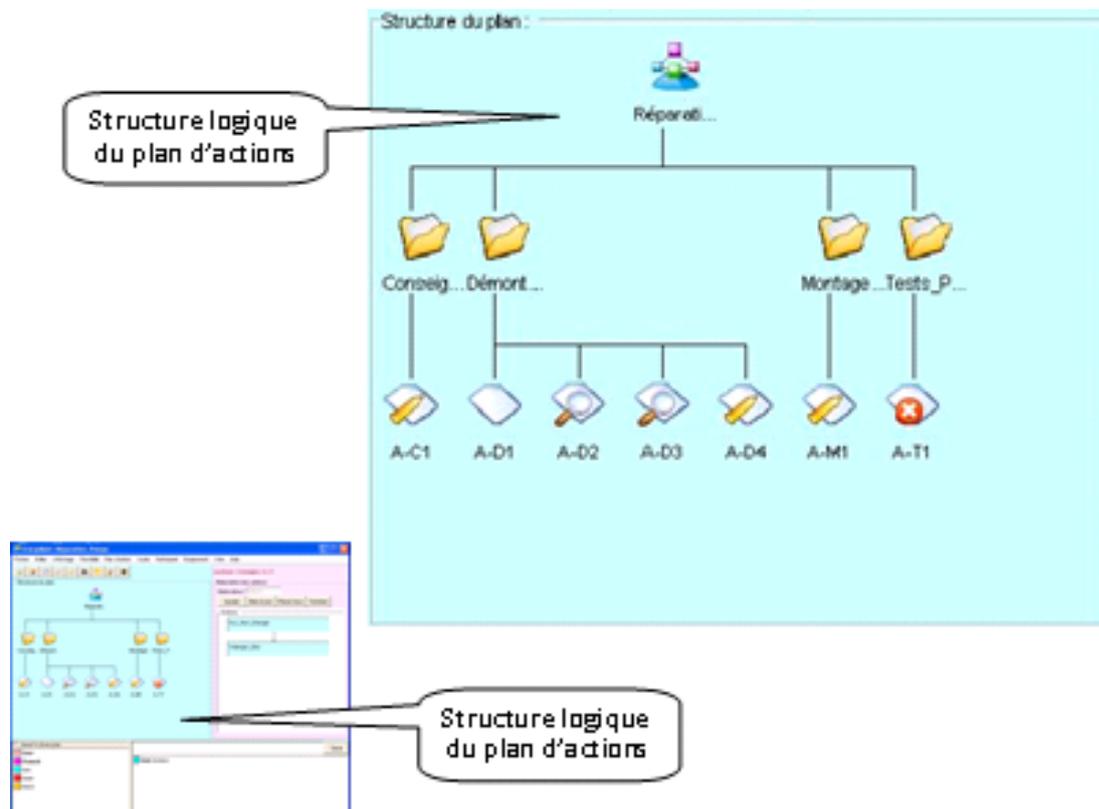
Par conséquent, l'avantage principal, qui nous a poussé à exploiter *JMF* dans le processus de développement, réside dans sa structure modulaire fournie aux développeurs pour leur permettre d'implémenter une application manipulant des flux continus tout en faisant abstraction des détails internes.

De ce fait, *JMF* met à la disposition des programmeurs un ensemble de classes prédéveloppées qui peuvent être instanciées par les programmes utilisateurs afin d'effectuer un certain nombre de traitement sur le son (ou *la vidéo*) sans avoir besoin de connaître les détails complexes de ces traitements. Par exemple : la capture du son via un microphone, le diffuser, le sauvegarder dans des fichiers, le transmettre sur le réseau, etc. En d'autres termes, nous pouvons dire que notre choix technique porté sur ce package a été motivé par les raisons de simplification et d'accélération du processus d'implémentation du canal audio de *GroupMain*.

#### **4.4.1.5 Gestion du PRA**

La solution préconisée au problème industriel traité est fournie sous forme d'un plan d'actions correctif ou préventif (*PRA*) composé en plusieurs tâches pour accompagner le processus de maintenance (Fig. 3.4). Sur la Fig. 3.4, nous distinguons les différentes phases de réparation préconisées par les experts participants ainsi que les actions élémentaires qui les composent.

L'implication de plusieurs experts devant travailler ensemble pour élaborer conjointement le *PRA* nécessite d'avoir une vue commune sur la structure totale de ce dernier. Par conséquent, la décomposition d'un *PRA* en phases auxquelles seront affectés des experts avec des rôles bien déterminés doit apparaître explicitement au niveau de l'interface.



**Fig 4.7.** Niveau interface – Structure logique d'un PRA

Ainsi, l'exécution des opérations sur la structure du PRA relève du ressort de l'expert *coordinateur*. Cependant, pour déplacer une phase, la détruire ou en créer une nouvelle, le participant autorisé doit solliciter le droit d'accès avant de pouvoir intervenir.

Les informations structurelles correspondent à la dernière version de la structure logique du PRA. Celle-ci est sauvegardée au niveau bas sous forme d'un arbre d'objets, composés ou atomiques. Le point de départ de tout processus de parcours est donc la racine de l'arbre. L'élaboration d'une phase par un expert est répercutée en temps réel sur les écrans des autres participants partageant cette même phase. Ainsi, ils ne peuvent à ce moment que la consulter. Enfin, après la mise en place d'un PRA validé par les experts et ainsi l'élimination de la défaillance, le système se charge d'archiver ce PRA avec toutes ses phases en tant que ressource susceptible d'être réutilisée pour éventuellement la réparation d'autres problèmes industriels similaires.

Le composant s'occupant de la gestion du *PRA*, est implémenté comme étant une classe d'objet *Java* instancié par le *contrôleur de dialogue*. L'objet instancié se compose d'un ensemble d'attributs et de méthodes. Ces attributs permettent de sauvegarder les informations concernant le *PRA* (sa structure, ses différentes phases, les informations des droits d'accès, etc.), alors que les méthodes assurent les accès à ces attributs.

Nous n'autorisons en fait que l'expert coordinateur à modifier la structure du *PRA* à un moment donné. Les autres participants ne peuvent que consulter en temps réel les modifications effectuées. Les opérations sur la structure sont alors régies par le mode de coopération *WYSIWIS* (Chap. 2.).

De ce fait, chaque opération réalisée par le coordinateur au niveau de son interface déclenche une série de communications avec le *contrôleur de dialogue* central, tout en utilisant le mécanisme d'invocation de méthodes à distance fournit par *Java-RMI*. Le *contrôleur de dialogue* à son tour provoque l'exécution de méthode approprié de l'objet de gestion de *PRA*.

```
import java.util.zip.*;
import java.io.*;
public class CPlanAction implements Serializable
{
    // Attributs
    private String NomPlanAction;
    private int NombreParties;
    private int NombrePhases;
    public String [] Parties;
    public CPhase [] Phases;
    public CPlanAction(String nom_Plan)
    { ..... }
    //Méthodes
    public void AjouterPartie (String nomPartie)
    {
        Parties[NombreParties]=new String(nomPartie);
        NombreParties+=1;
    }
    public void AjouterPhase (String nomLogiquePhase, String
descriptionPhase, int numPartie)
    {
        Phases[NombrePhases]=new
CPhase(nomLogiquePhase,descriptionPhase, numPartie);
        NombrePhases+=1;
    }
    public void ChangerEtatPhase (int numPhase, String NouveauEtat)
    { Phases[numPhase].ChangerEtat( NouveauEtat); }
    .....
    ..... }
}
```

*Une partie du code du composant de gestion de PRA*

#### 4.4.1.6 Notification des événements

L'utilisation de notion de notification dans le domaine du *TCAO* est une approche encourageante depuis son lancement [WII 91]. Par conséquent, nous adoptons un mécanisme de notification d'événements pour le support de la conscience de groupe et de la coordination comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre précédent.

Le *contrôleur de dialogue* se charge de gérer tous les événements qui surgissent dans l'espace de travail partagé. Compte tenu du fait qu'il interdit l'accès direct aux données par les clients en les contraignant à passer à travers les modules qu'il gouverne (Fig. 4.6), il peut donc aisément assurer la notification d'événements concernant les phases du *PRA*. Chaque expert participant peut configurer son espace à sa guise pour être informé à chaque fois qu'un événement spécifique se produit dans l'espace de travail partagé (§ 3.2.6.5). Par exemple, il peut spécifier au système son souhait de recevoir les modifications apportées à une phase spécifique du *PRA*, afin de les recevoir de façon automatique. Ainsi, chaque expert peut configurer manuellement son espace de travail (Chap. 5).

Les engagements des experts sont enregistrés dans une liste au niveau du site central, qui sera utilisée lors de la génération des notifications. En effet, chaque changement d'état ou mise à jour exécutés sur une phase du *PRA* engendre l'activation du composant de *notification des événements* (Fig. 4.6). Ce module parcourt la liste des engagements, pour vérifier si une phase modifiée ou mise à jour afin de délivrer les notifications à tous les participants concernés. Ces notifications sont concrétisées par des messages transmis via le principe d'invocation de méthodes à distance fournit par *Java-RMI*. Ainsi, ce composant de notification est implémenté via une classe d'objet instancié par le *contrôleur de dialogue*, ainsi que ses méthode son invoquées en cas de nécessiter.

```
import java.util.zip.*;
import java.io.*;
class CNotification implements Serializable
{
//attribus
private int          NumeroPhase;
private int          NumeroParticipant;
private int          TypeEvenement;
private int          TypeNotification;
private boolean     Arrete_engagement;
// Méthodes
public CNotification (int numeroPhase,int numeroParticipant)
{
this.NumeroPhase     =     numeroPhase;
```

```

this.NumeroParticipant = numeroParticipant;
this.TypeEvenement = 0;
this.TypeNotification = 0;
this.Arrete_engagement = false;
}
public int getNumeroPhase()
{
return NumeroPhase;
}
public int getNumeroParticipant()
{
return NumeroParticipant;
}
public void setArrete_engagement(boolean arrete_engagement)
{
this.Arrete_engagement=arrete_engagement;
}
public void setTypeEvenement(int typeEvenement)
{
this.TypeEvenement=typeEvenement;
}
public void setTypeNotification(int typeNotification)
{
this.TypeNotification=typeNotification;
}
public int getTypeEvenement()
{
return TypeEvenement;
}
public int getTypeNotification()
{
return TypeNotification;
}
}

```

*Le code du composant de gestion de PRA*

#### **4.4.1.7 Données partagées**

Lors du processus d'implémentation de notre système, nous avons accordé une grande importance au traitement et à la sauvegarde des données partagées. La fonctionnalité qui a requis toute notre attention concerne sans aucun doute la préservation de la cohérence des données partagées. Cependant, pour chaque projet de maintenance accompli, Nous distinguons une masse importante d'informations relevant de l'expertise coopérative qui est produite. Par conséquent, nous avons tenu à ce que ces expériences soient consignées dans la base de données tout en développant les techniques d'accès et de recherches qui soient capables de récupérer à la demande des données pertinentes au bon déroulement du processus de maintenance.

## 4.4.2 Solutions technologiques exploitées

Nous discutons dans cette section les différentes solutions technologiques adoptées pour le prototypage de notre Groupware, qui constitue l'outil fondamental de notre architecture. Notamment pour matérialiser notre contribution en termes d'évolution de la télémaintenance industrielle par les TIC. Dans cette section, nous abordons d'abord les motivations liées aux choix du langage de programmation, puis nous exprimons les points forts des solutions technologiques exploitées par *GroupMain* afin d'assurer la transmission des flux d'informations vers les sites clients.

### 4.4.2.1 Langage Java

Pour mieux cerner le fonctionnement de notre système, nous avons développé une première version avec le langage Java sous *Windows XP*. Les tests effectués avec ce prototype sur un réseau local montrent de bons signes des possibilités de collaboration et de coordination développées. Cependant, nous devons à l'avenir envisager une expérimentation effective en situation afin de pouvoir identifier les besoins des experts et comprendre objectivement l'apport de notre méthode de conception.

Ainsi, nous avons opté pour le langage portable *Java* et exploité sa panoplie de bibliothèques riches qui facilitent énormément le développement rapide des applications de type Groupware. *Java* constitue un langage de programmation orienté objet de haut niveau qui est inspiré du langage C++ mais assoupli afin d'en simplifier l'exploitation et la maintenance des programmes.

Au niveau supérieur, les packages *Awt* et *Swing* nous ont permis de donner une apparence assez conviviale de notre application. En matière d'interaction de groupe, les événements utilisateurs sont gérés via le mécanisme *Event/Listener*. L'utilisation de ce mécanisme facilite l'interception des événements générés par chaque expert participant sur son interface afin de les diffuser aux autres et maintenir ainsi la conscience de groupe autour de la tâche partagée. Il faut aussi préciser que l'exécution concurrente des diverses tâches au sein de *GroupMain* repose sur le principe du *Multithreading Java*.

#### 4.4.2.2 *Java-RMI*

Une *API* (*Application Programming Interface*) est une bibliothèque constituée de classes<sup>13</sup> et d'interfaces<sup>14</sup> destinées aux développeurs d'applications afin de leur faciliter la tâche via le principe de réutilisabilité. Les interfaces et les classes proposent des propriétés paramétrables et des fonctions autonomes.

Par conséquent, *Java-RMI* (*Remote Method Invocation*) est une *API* produite par *Sun* pour être manipulée par des programmes *Java*. Elle permet donc de mettre à la disposition des développeurs de systèmes répartis un ensemble de classes et d'interfaces qui peuvent être instanciées et utilisées à partir de leurs programmes. Il devient facile ainsi de manipuler à distance des objets de façon transparente. La notion d'objet distant est destinée pour spécifier tout objet mis en place par une machine virtuelle et instancié par une autre machine virtuelle, éventuellement exécutée sur une autre machine physique du réseau.

Partant de ce constat, nous avons implémenté *GroupMain* et particulièrement ces mécanismes de transfert de données et de gestion de la transparence en faisant abstraction des détails du niveau bas au travers du composant *Java-RMI*. Nous avons également exploité le mécanisme de sérialisation d'objets de *Java* pour assurer les échanges des informations structurées entre les différents sites participants.

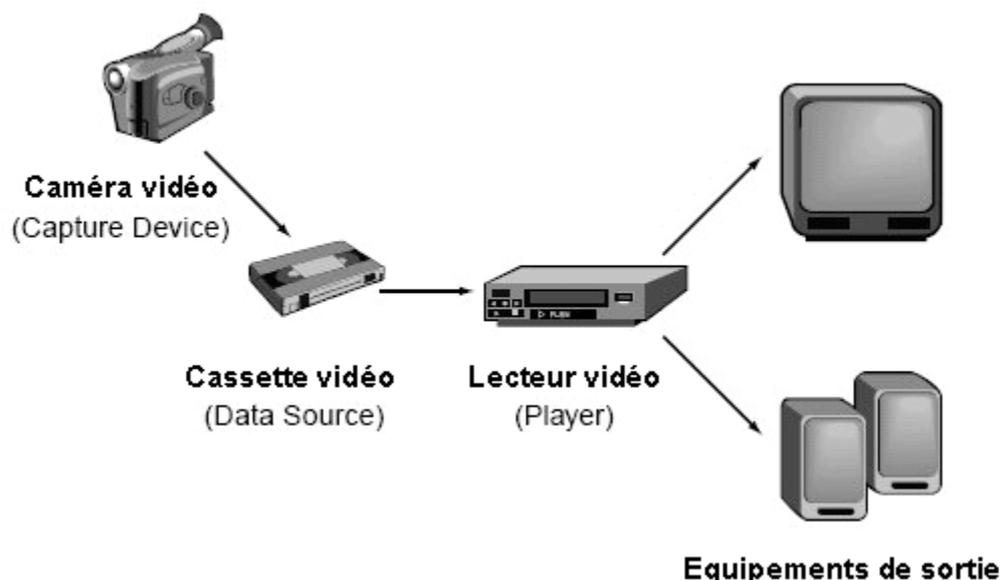
#### 4.4.2.3 *API-JMF*

Comme nous l'avons déjà mentionné, le composant de gestion de transfert des flux continus de notre Groupware *GroupMain* est implémenté via l'*API-JMF* (§ 4.4.1.4). Cette dernière n'est rien d'autre qu'une simple bibliothèque, qui est composée de plusieurs classes et d'interfaces. Ce package permet aux développeurs d'applications multimédias de manipuler les média à partir de programmes ou d'applets développés en *Java*. Elle assure également la manipulation, en temps réel, de données multimédias (*capture, traitement et restitution de données*) de divers formats (*AVI, MIDI, MPEG, WAV, etc.*). Le principe de fonctionnement de *JMF* est explicitement schématisé sur la Fig. 4.8.

---

<sup>13</sup> Une classe est l'abstraction d'un ensemble d'objets ayant une structure (propriétés configurables) et des comportements (méthodes) similaires. Elle décrit le comportement des objets qui sont instances de la classe.

<sup>14</sup> Les interfaces sont des classes partiellement implémentées. Toutes classes implémentant une interface aura la forme (attributs plus méthodes) de l'interface. Elles offrent la possibilité aux classes de disposer de comportement particulier.



**Fig 4.8.** Architecture de base de l'API-JMF

A titre d'exemple, pour produire un film avec une caméra et le faire tourner sur la télévision, il fallait suivre les étapes suivantes :

- Introduire une cassette vidéo dans la caméra, qui se chargera de l'enregistrement des données multimédias sur ce support.
- Déplacer la cassette résultante au lecteur vidéo afin d'assurer sa lecture et l'interprétation de ses médias.
- Ensuite, les données extraites de la phase de lecture et d'interprétation sont transférées via des signaux à la télévision ainsi qu'aux équipements de sonorisation pour être exécutées.

Selon ce scénario, JMF exploite l'objet « *DataSource* » qui réagit de la même façon que la cassette vidéo. Un autre objet « *Player* » produit à peu près les mêmes services d'un lecteur vidéo. Enfin l'objet « *CaptureDevice* » permet de simuler le comportement de la caméra vidéo ou celui d'un microphone s'il s'agit de l'audio seul.

## 4.5 Conclusion

Ce chapitre dans sa globalité s'est intéressé au processus d'implémentation de notre système collaboratif de télémaintenance industrielle CSITM. Dans cette perspective, nous avons également montré que la mise en œuvre des deux composants (*GroupMain* et *Centre de compétence*) du système est fondée sur le modèle *client-serveur*.

Par conséquent, nous avons décidé tout d'abord d'expliciter le principe de fonctionnement de ce modèle.

La différence entre la notion de *serveur* et celle de *service* a été bien explicitée, tout en précisant leur point d'intérêt pour notre système *CSITM*. Par ailleurs, vu que l'implémentation de tout système informatique doit être fondée sur une architecture logicielle décrivant ses différents composants, nous avons consacré une grande partie de ce chapitre pour détailler l'architecture logicielle adoptée pour mettre en œuvre le système *CSITM*. Nous avons précisé qu'elle adopte le modèle d'architecture centralisée. Ce choix nous permet de distinguer le noyau fonctionnel du système de ses différentes interfaces utilisateurs et concrétiser la modularité du système pour renforcer son adaptabilité. Enfin, les différents outils exploités durant le processus d'implémentation ainsi que les motivations des choix techniques adoptés ont été bien explicités.

Toutefois, l'efficacité des systèmes collaboratifs ne relève pas uniquement d'une bonne adoption des choix techniques d'implémentation, mais dépend aussi des aspects concernant l'usage du système. Ce facteur constitue l'élément important de l'acceptabilité des systèmes collaboratifs par les utilisateurs effectifs. Par conséquent, le chapitre suivant présentera des variantes de scénarios liées à l'utilisation des principales fonctionnalités du système *CSITM*.

## Chapitre 5 : Présentation du système CSITM

### 5.1 Introduction

Le succès d'un travail collectif via un système Groupware peut être mesuré par la capacité du système à produire et à supporter une meilleure dynamique de groupe. Il doit ainsi contribuer à minimiser au la virtualité de présence des membres participants. De même que la collaboration doit pouvoir se dérouler tout aussi normalement qu'en situation de coprésence.

En termes d'interface homme-machine, les systèmes Groupware dégagent de nombreux problèmes car l'interaction y est largement plus complexe. De plus un environnement de travail partagé intègre de nouveaux outils de communication, de coordination, de production, etc. Par conséquent, la dimension psychologique devient encore plus influente.

Partant de ce constat, un effort spécifique doit être déployé afin de garantir l'aspect ergonomie des systèmes Groupware et réduire significativement les surcharges cognitives des participants. Dans ce chapitre, nous nous intéresserons aux considérations ergonomiques prises en compte lors de présentation du fonctionnement de notre système de télémaintenance industrielle coopérative « CSITM ». A cet effet, Nous commencerons par une présentation des fonctionnalités

du composant « *Centre de compétence* », puis, nous discuterons les détails de déroulement de la coopération et de la collaboration via notre outil Groupware.

## 5.2 Présentation du centre de compétences

Le *Centre de Compétences* ou *Centre d'Expertise* se présente sous la forme d'un site web classique dont la page d'accueil présente l'interface principale d'interaction avec les différents types d'utilisateurs (*experts, techniciens et administrateur*) (Fig. 5.1). Il est implémenté sur une plateforme WAMP (*Windows Apache MySQL PHP*), donc son fonctionnement requiert la disponibilité des outils suivants :

- Au niveau des stations clientes, un navigateur Web (*exemple : MS Internet Explorer*) est indispensable.
- Au niveau du serveur, les outils suivants sont nécessaires :
  - Le système de gestion de base de données *MySQL* pour gérer les accès aux données manipulées par le système.
  - Le serveur *HTTP Apache Tomcat*.
  - Les scripts *PHP* communiquant avec les experts, les techniciens et l'administrateur du système via des interfaces web et manipulant les données enregistrés sur les bases de données *MySQL*.

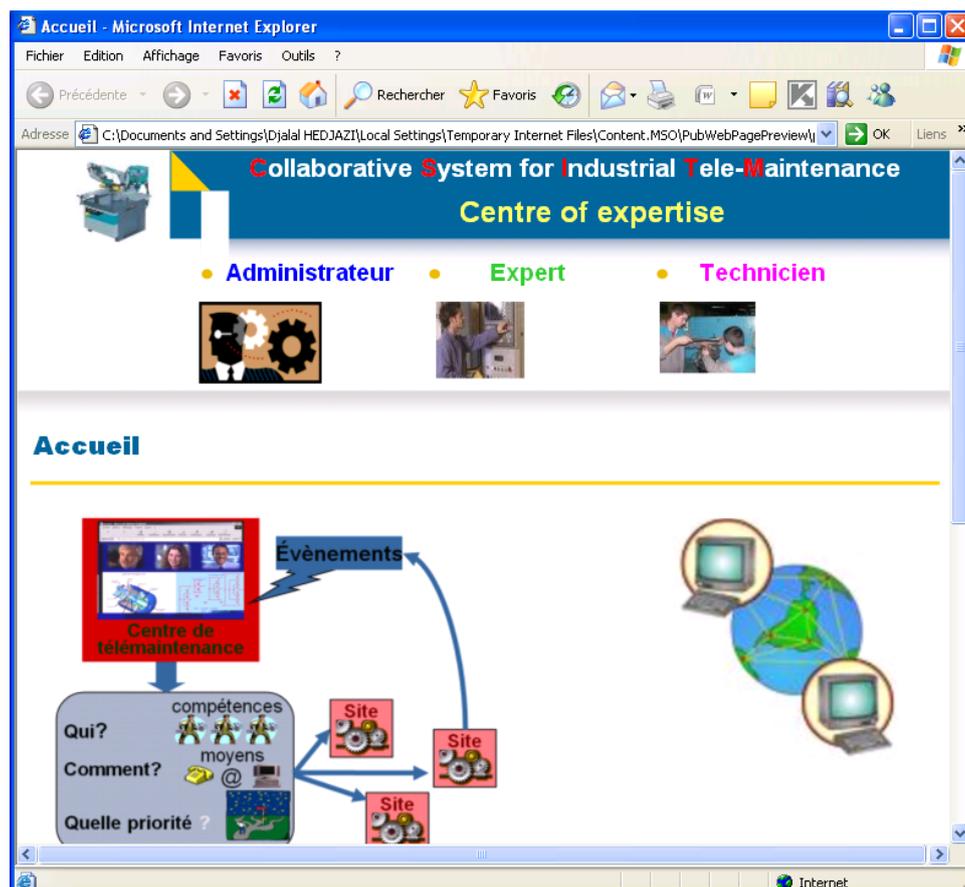


Fig 5.1. Page d'accueil du centre de compétence

La page d'accueil du « *Centre de compétence* » présente un ensemble de liens hypertextes, permettant aux différents usagers en fonction de leurs autorités de naviguer et accéder aux informations désirées (Fig. 5.1). Nous distinguons alors le lien « *Expert* », qui conduit l'utilisateur vers son espace de travail. A travers cet espace, les experts peuvent s'informer sur tous leurs autres collègues experts. Ils peuvent ainsi les inviter à participer à des sessions de travail de maintenance.

Un autre lien dit « *administrateur* », sert à diriger l'utilisateur vers un autre espace d'administration dans lequel l'acteur concerné peut configurer le système. Enfin le lien « *Technicien* » est destiné aux enregistrements des requêtes de déclaration des pannes détectées au niveau du parc industriel à l'intention du centre de compétences.

### 5.2.1 Espace de travail de l'administrateur

Le rôle « *Administrateur* » est un rôle prédéfini qui définit des tâches pour un expert qui a la charge de contrôle général du système, mais pas nécessairement du contenu de l'expertise. En effet, l'administrateur du « *Centre de compétence* » utilise cet espace de travail afin de configurer le système et préparer toutes les conditions pour son exploitation par les différents usagers (*experts et techniciens*).

### 5.2.2 Espace de travail des experts

Par souci d'accélérer le processus de télémaintenance, il est parfois nécessaire de faire appel à des compétences ayant déjà de l'expérience à propos d'une panne spécifique. Il faudrait donc permettre l'intégration dynamique de nouveaux membres experts aux différentes sessions de travail collaboratif. En effet, les groupes d'experts peuvent, tout en utilisant cet espace, inviter leurs collègues à participer dans leurs sessions de travail collaboratif. Par ailleurs, pour encourager l'échange et le transfert du savoir-faire dans le contexte de maintenance industrielle, les experts du « *Centre de compétences* » peuvent eux-mêmes intégrer des groupes de travail et participer à la résolution d'un problème industriel. En effet, puisqu'ils disposent de toutes les informations sur les différents groupes de travail en cours (*équipes de télémaintenance*), les membres experts impliqués, les pannes traitées, etc. Par conséquent, cet espace facilite l'accès à toutes ces informations. Par exemple, pour prendre connaissance de l'identité des membres experts impliqués dans une session de travail, il suffit de cliquer sur le lien associé et la liste sera affichée (Fig 5.2.).

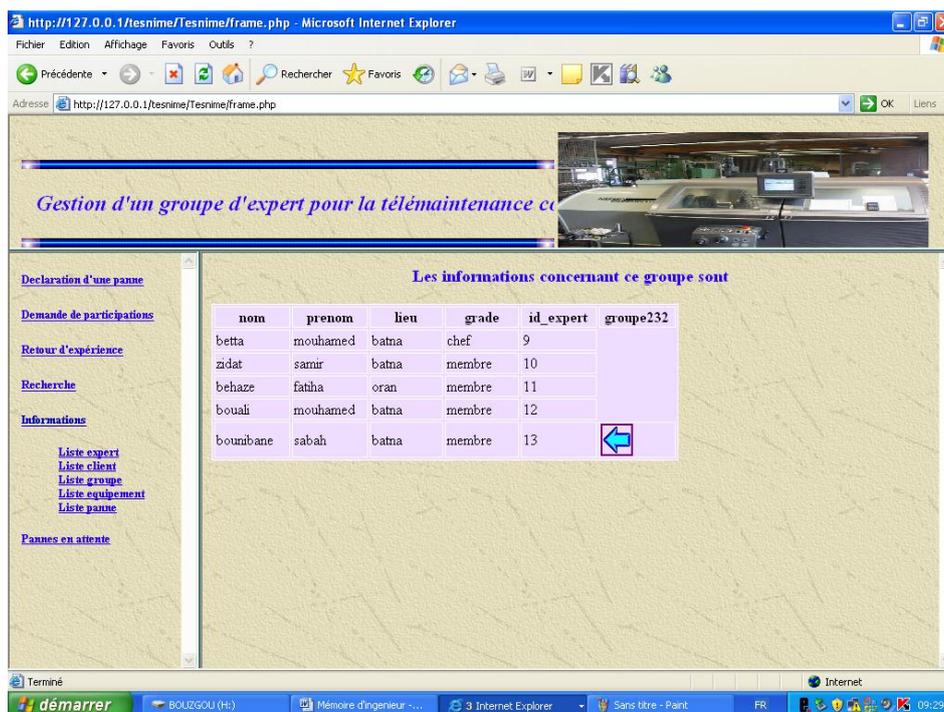


Fig 5.2. Visualisation des experts participants à une session en cours

### 5.2.3 Espace de travail des techniciens

Comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre de modélisation (chap. 3), les techniciens de maintenance constituent des membres indispensables et doivent participer aux sessions de travail collaboratif. Ils représentent en effet l'unique moyen dont disposent les experts pour agir localement sur les équipements défectueux lors de leur maintenance. Ce sont donc eux qui déclarent les pannes détectées, accomplissent les PRA élaborés par les équipes de télémaintenance, retournent des rapports après avoir appliqué les recommandations des experts à travers les PRA, etc.

En conséquence, cet espace de travail fournit les moyens graphiques nécessaires permettant aux techniciens d'accomplir de manière assez flexible leurs tâches. A titre d'exemple, afin de signaler une panne survenue, le technicien procède au remplissage d'un formulaire, tout en donnant une brève description de l'état de l'équipement (Fig 5.3). Sur cette figure, l'activation du bouton « envoyer » déclenche l'exécution de plusieurs actions permettant la construction des groupes, la planification, l'organisation, etc.

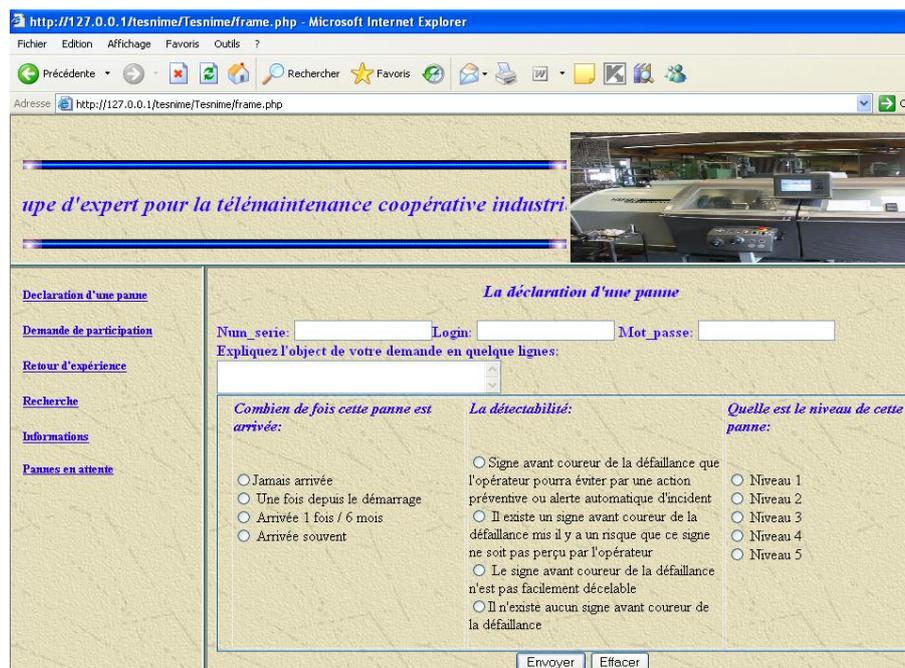


Fig 5.3. Déclaration d'une nouvelle panne

### 5.3 Présentation de GroupMain

L'aspect usage de *GroupMain* se base principalement sur les contraintes d'utilisation suivantes [HED 09] :

- Après l'organisation de la session de travail par le *Centre de compétence*, les experts se réunissent virtuellement autour la panne signalée.
- Les experts et le technicien exploiteront le Groupware *GroupMain* comme moyen de communication, de négociation, de coordination et de coopération.
- Les experts essayeront d'établir ensemble un télédagnostic tout en discutant à propos de l'historique de fonctionnement de l'équipement en discutant via le lien de communication audio avec le technicien. En effet, concernant la description de l'état de l'équipement, le technicien localisé sur site est très bien placé pour en fournir une description détaillée et constituera de ce fait une source d'informations capitale pour les experts.
- L'expert *coordinateur* élabore rapidement une première structure du *PRA* au démarrage, qui consiste généralement à spécifier ses différentes phases, les experts participants et leurs rôles respectifs. Les différents experts participants

sont alors notifiés et peuvent communiquer à propos du problème, leurs rôles, etc.

- Après, le travail peut démarrer et chaque expert viendra enrichir le *PRA* et intégrer son savoir-faire.
- Au cours d'une session de travail, les experts peuvent échanger dynamiquement des messages audio pour discuter de l'état d'avancement du travail.

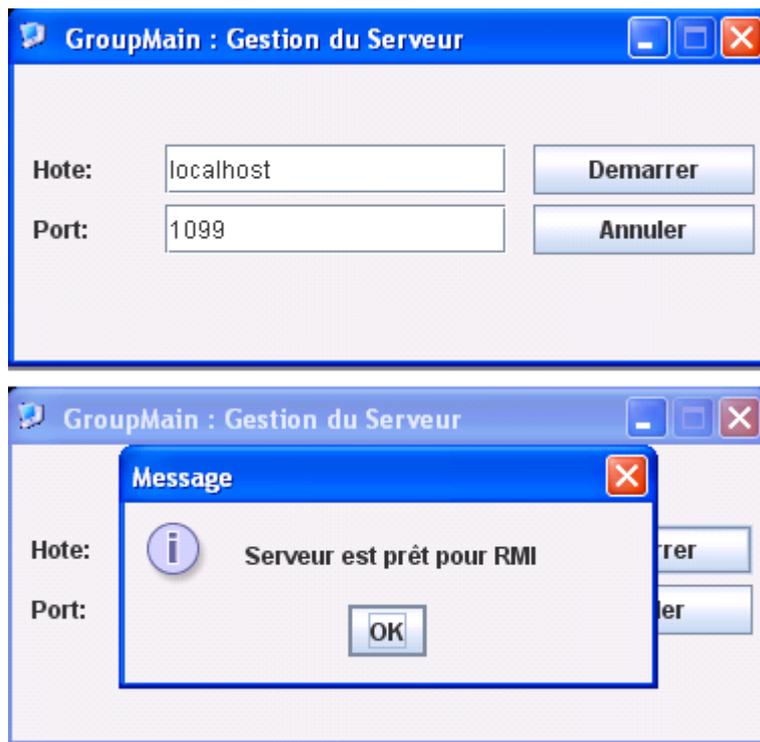
### 5.3.1 Fonctionnalités de base

Le Groupware *GroupMain* est un système distribué bâti sur une architecture centralisée, permettant la gestion des différents événements produits au niveau des diverses interfaces utilisateurs. Son principe de fonctionnement adopte le modèle *client-serveur* et requiert le lancement du composant « *GroupMain\_Serveur* » au niveau de la station serveur. Chaque expert désirant joindre la session de travail collaboratif doit lancer sur sa station de travail le composant « *GroupMain\_Client* ».

Dans ce qui suit, nous allons expliciter en détails certaines fonctionnalités de base décrivant de manière pratique le déroulement de la collaboration via notre Groupware *GroupMain*.

#### 5.3.1.1 Lancement du serveur

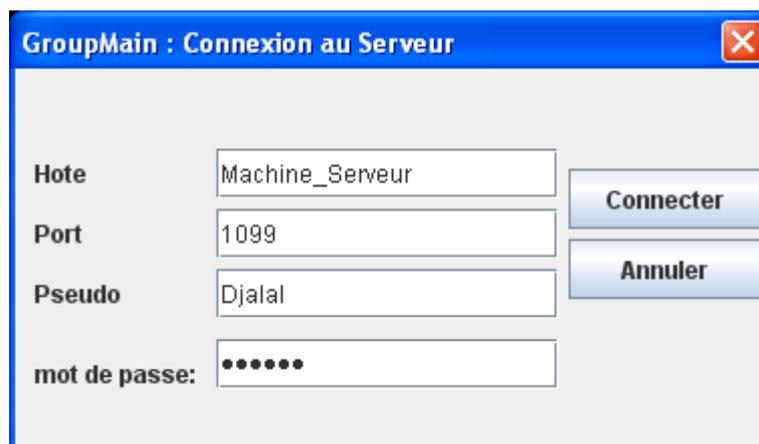
La communication entre le composant *GroupMain\_Serveur* et les différentes instances du composant *GroupMain\_Client* est basée sur l'invocation de méthodes à distance *RMI*. La station serveur doit donc lancer en premier lieu le programme *rmiRegistry*. Puis, le lancement de *GroupMain\_Serveur* affichera sur écran une fenêtre permettant à l'utilisateur d'introduire les informations indispensables (*Hote* et le numéro de *Port*) à l'établissement des connexions avec les diverses instances du composant *GroupMain\_Client* (Fig. 5.4.).



**Fig 5.4.** Fenêtre de connexion coté serveur

### 5.3.1.2 Connexion des clients

Après la déclaration d'une panne par un technicien de maintenance, le *Centre de Compétence* construit une équipe de télémaintenance composée de plusieurs experts. Ces derniers se réunissent virtuellement à travers le Groupware *GroupMain*, tout en partageant la réparation de cette panne comme objet de la collaboration. Dans cette perspective, chaque expert procède au lancement d'une instance du composant *GroupMain\_Client*, qui affichera en premier lieu une fenêtre de connexion (Fig. 5.5).



**Fig 5.5.** Fenêtre de connexion coté client

### 5.3.1.3 Interface principale de GroupMain

Suite à l'introduction des informations de connexion, l'interface graphique principale de *GroupMain* s'affichera sur écran (Fig. 5.6). Elle est organisée en plusieurs espaces de travail, dont chacun est consacré à la visualisation d'une catégorie d'informations à propos de la tâche collaborative en cours. L'ensemble de ces informations permet d'assurer le maintien de la conscience de groupe et la gestion de la coordination des experts afin d'assurer la gestion de leurs actions mutuelles. Par conséquent, nous distinguons l'espace en bas de la fenêtre (*Espace-B*), qui présente à chaque expert participant la liste de ses collègues présents en session de travail en cours. Les communications inter-experts par messages textuels est assurée également par un outil de chat (*Espace-C*).

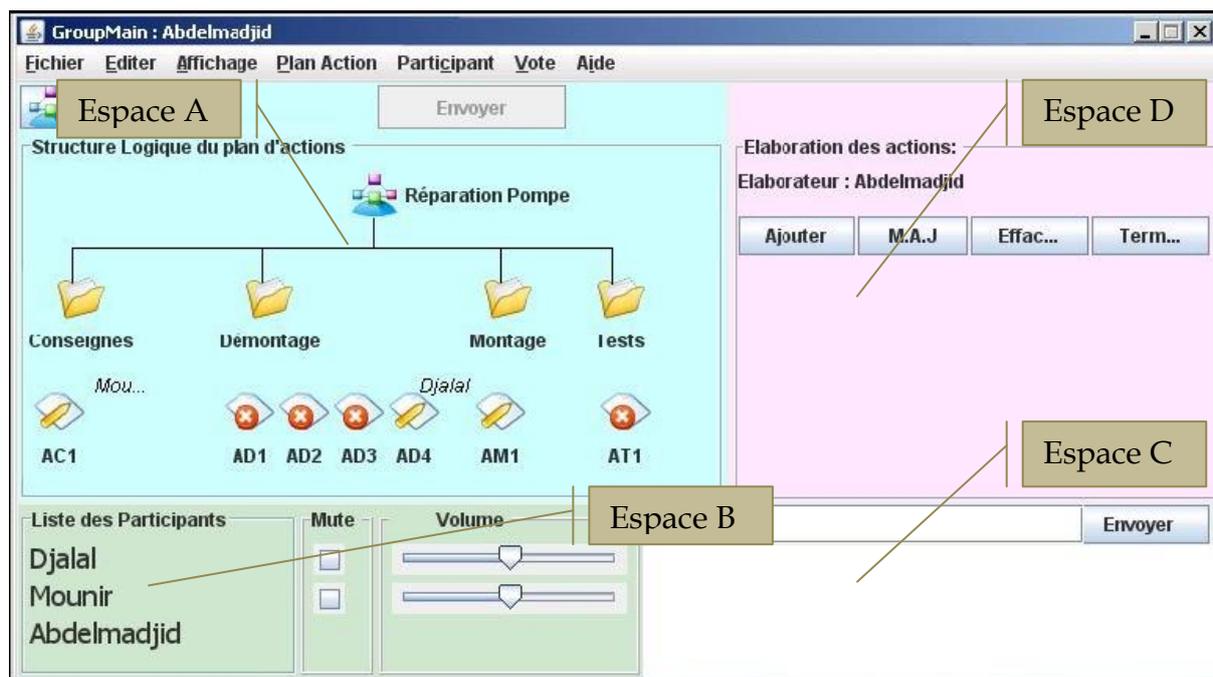


Fig 5.6. Fenêtre principale de GroupMain

Dans notre Groupware, la Structure du PRA est extrêmement importante, car elle permet de rehausser les performances du système, surtout en termes de coordination et conscience de groupe. L'espace de travail désigné pour visualiser le PRA est indiqué sur la (Fig 5.6.) (Espace-A). Enfin, l'espace-D, met à la disposition des experts les moyens graphiques permettant l'élaboration des contenus des phases.

#### 5.3.1.4 Elaboration du PRA

Comme nous l'avons déjà mentionné dans le Chap. 3, la structure du PRA est organisée sous forme d'une hiérarchie à niveaux. Elle est visualisée sur l'espace de travail comme un arbre, dont les différents nœuds représentent les différentes phases du processus de réparation. La racine de cet arbre est étiquetée par un nom indiquant l'intitulé du PRA. Le deuxième niveau, affiché par des icônes « répertoire », représente les diverses parties du plan, dont chacune regroupe les phases de même nature (par exemple les phases de démontage : *démontage pompe*, *démontage cache*, *démontage couvercle*, etc.).

Afin de réduire la charge cognitive des experts participants, des icônes graphiques sont ainsi associées aux différentes phases pour indiquer leurs états courants. En effet, chaque phase doit être dans l'un des états suivants (Fig. 5.6.):

-  *Bloquée* : elle est en cours d'élaboration par l'un des experts participants ;
-  *Libre en lecture* : Un ou plusieurs experts sont en train de consulter son contenu ;
-  *Libre* : Aucun expert ne travaille dessus que ce soit en consultation ou modification.
-  *Non encore élaborée* : Le contenu de la phase est vide, c'est-à-dire qu'elle n'est pas encore élaborée par les experts participants. Elle est destinée pour indiquer une autre éventuelle voie à explorer par la suite.

Les opérations traditionnelles (nouveau, ouvrir, etc.) appliquées au *PRA* sont prises en charge par *GroupMain*, mais sont réservées uniquement à l'expert *coordinateur*. Cependant, la vue globale d'un *PRA* peut être visualisée à tout moment par les autres participants. Ceci leur permet de contrôler la progression de leurs tâches collaboratives. Cette fonctionnalité constitue ainsi un élément essentiel pour le *coordinateur* et les experts qui doivent veiller à bien respecter les délais imposés. L'accès à cette fonctionnalité se fait via l'activation de la rubrique « *Afficher* » du menu principal (*Afficher Vue Globale PRA*), ce qui affichera sur écran la vue globale du *PRA* courant (Fig. 5.7).

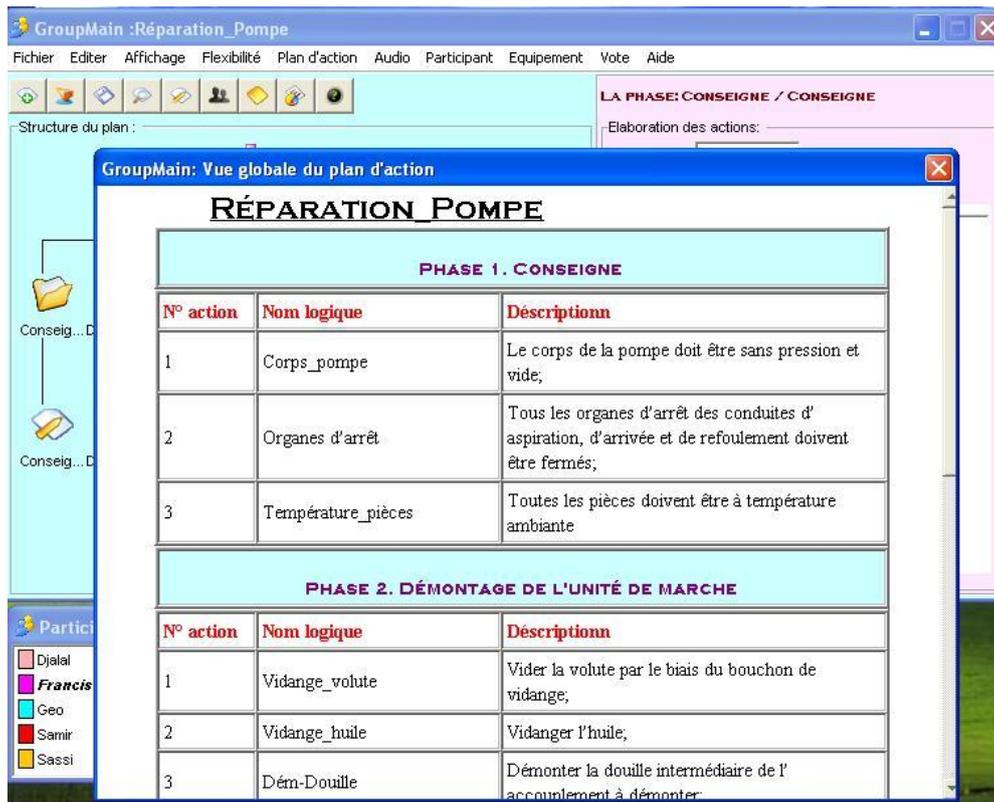
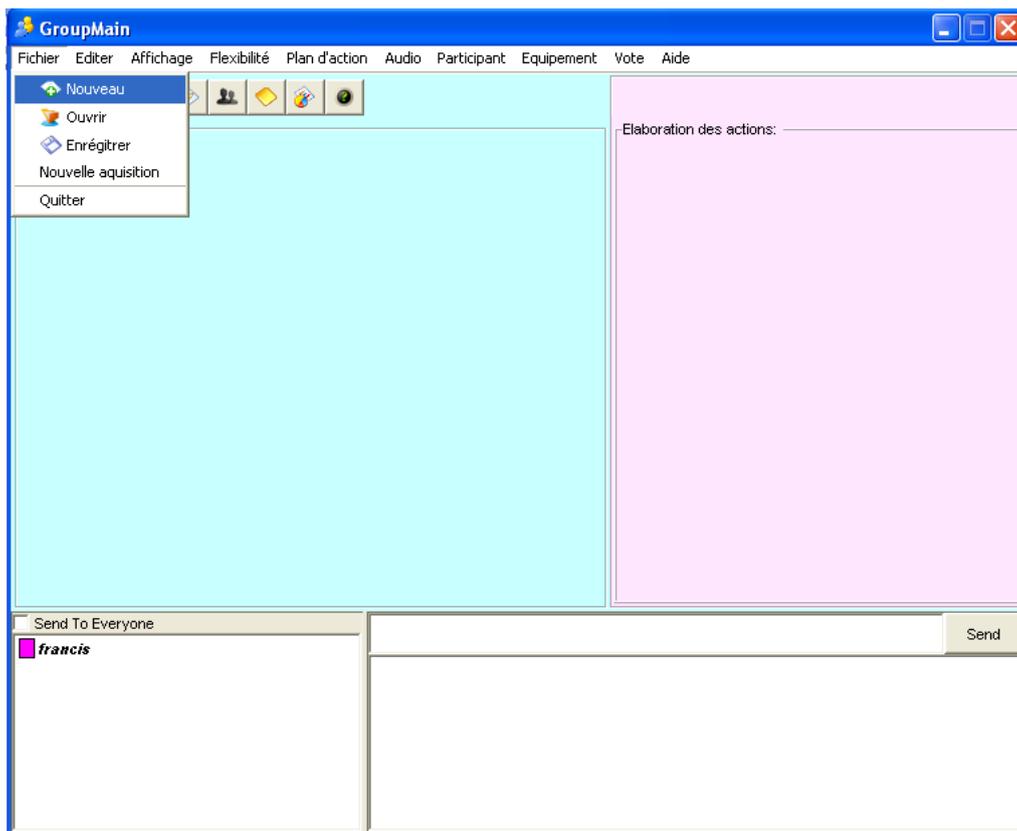


Fig 5.7. Niveau Interface - Vue globale d'un PRA

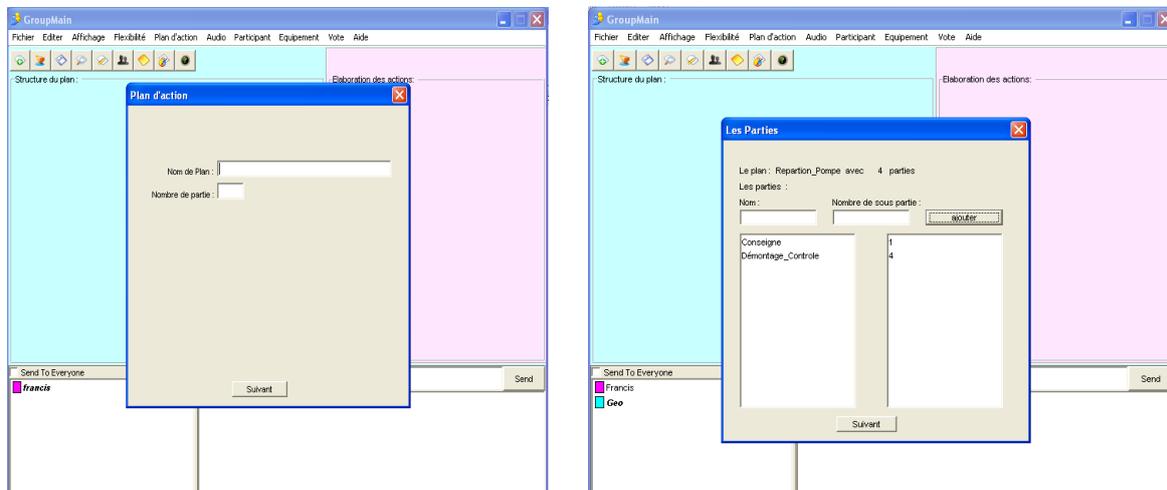
#### 5.3.1.4.1 Nouveau

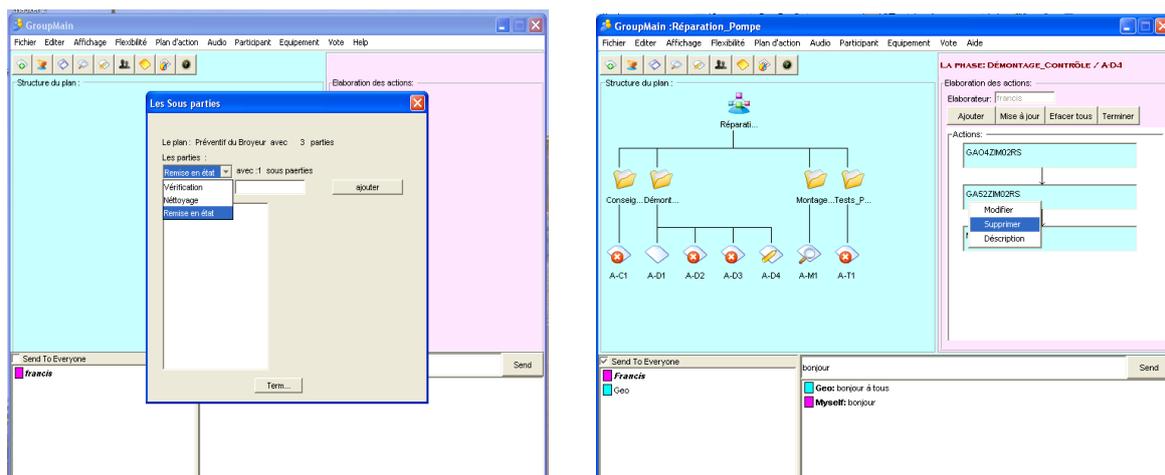
A travers cette fonctionnalité, le *coordinateur* procède à la création d'un nouveau PRA, tout en introduisant les informations associées (intitulé du PRA, différentes phases, les noms logiques des diverses phases, etc.).



**Fig 5.8.** Création d'un nouveau PRA

A partir du menu principal on active "Fichier" - "Nouveau", on aura l'activation des fenêtres d'introduction des informations structurales du PRA (Fig. 5.9).





**Fig 5.9.** Introduction des informations structurales du PRA

Après la création de la structure du PRA, elle est immédiatement transmise et affichée au niveau des interfaces de tous les experts participants et le processus de collaboration sera lancé. Chaque expert pourra enrichir les différents niveaux du plan de réparation à travers l'élaboration des consignes de réparation associées aux différentes phases.

#### 5.3.1.4.2 Elaboration des phases

Les diverses phases du PRA sont régies principalement par deux modes de travail (*mode élaboration* ou *mode Consultation*). Selon ces deux modes, les experts participants peuvent élaborer, enrichir ou consulter le contenu des phases. Le droit d'accès à une phase en mode "Elaboration" est associé exclusivement à l'expert qui le sollicite en premier, les autres ne peuvent que consulter ce contenu en attendant d'intervenir.

Pratiquement, un expert qui désire enrichir le PRA doit solliciter l'accès à une phase en *mode élaboration*. A cet effet, il doit activer "Plan d'action" - "Phase" - "Elaboration" (ou avec le menu contextuel "Elaboration", ou le raccourci "Elaboration") (Fig. 5.10). Via cette fonctionnalité le participant autorisé pourra intégrer de nouvelles actions, modifier des actions déjà élaborées ou les supprimer.

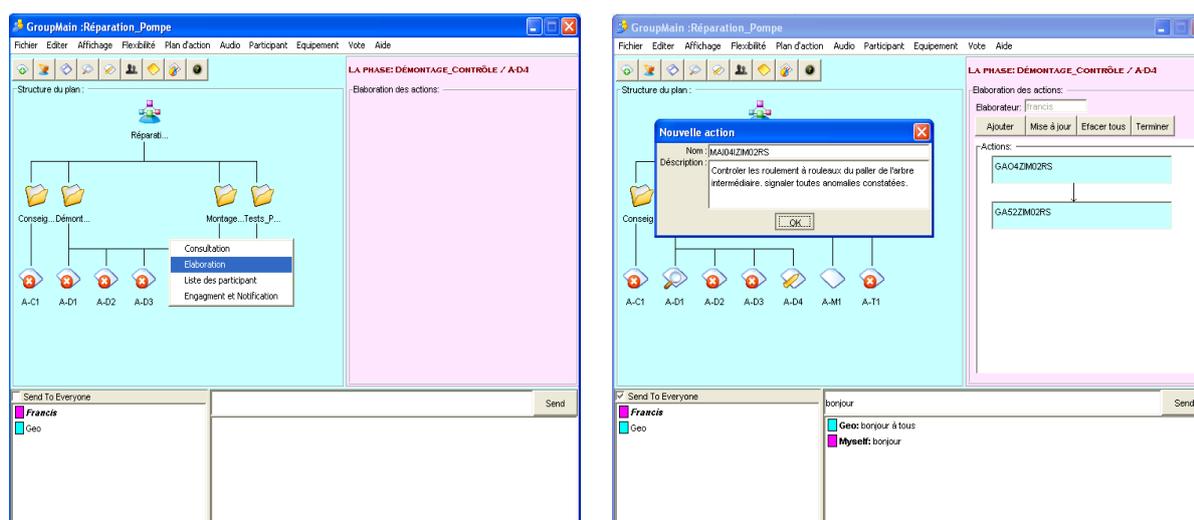


Fig 5.10. Accès en mode élaboration à une phase

Par ailleurs, tous les experts peuvent à tout moment agir sur une phase en cours d'élaboration avec le *mode consultation*. Ce dernier mode fournit ainsi aux participants un moyen efficace de suivi en temps réel de la progression du travail accompli sur cette phase. Ils recevront en effet toute nouvelle modification appliquée à une phase qui les intéresse.

### 5.3.2 Rétroaction de groupe

L'aspect rétroaction de *GroupMain* est concrétisé principalement par l'intégration du mécanisme de notifications. Ce dernier permet la diffusion des différents événements qui se produisent dans l'espace de travail partagé. De plus, lors du déroulement de la collaboration, les experts participants peuvent recueillir des informations relatives aux interrogations : *Qui fait quoi ?*, *Où ?*, *Quand ?*, *Avec quel rôle ?*, etc.

En d'autres termes, le Groupware *GroupMain* fournit à chaque expert participant les outils informatiques permettant de visualiser les informations sur les autres experts participants (*rôle, identité, compétences, etc.*), les interactions au sein de l'espace de travail (*activités courantes, phases manipulées, modifications réalisées, etc.*), ainsi que les états des phases du PRA (*bloquée, libre, etc.*). Les conversations vocales ou textuelles permettent aux participants de trancher ensemble au sujet de leurs tâches communes.

En résumé, l'aspect rétroaction de *GroupMain* est fourni également à travers certaines fonctionnalités à savoir :

- *Sollicitation d'informations sur participants ;*

- *Engagements de notifications sur des événements ;*
- *Lancement de votes ;*
- *etc.*

Dans ce qui suit, nous allons en effet expliciter l'aspect pratique de toutes ces fonctionnalités.

### ***5.3.2.1 Informations sur participants***

Du point de vue social impliqué par la collaboration, les participants ont souvent recours aux informations sur leurs collaborateurs (*nom, prénom, compétences, âge, etc.*). Cela influence de manière considérable la façon d'interagir, qui influe à son tour l'efficacité de la collaboration. De ce fait, le Groupware *GroupMain* met à la disposition de ces experts utilisateurs des opérations leur permettant de s'informer à tout moment sur tous les membres du groupe. Par exemple, la possibilité illustrée sur la Fig. 5.11 présente à l'expert des informations associées à l'un de ses collègues suite à sa demande exprimant son souhait de savoir qui travaille actuellement sur la phase *A-D4*.

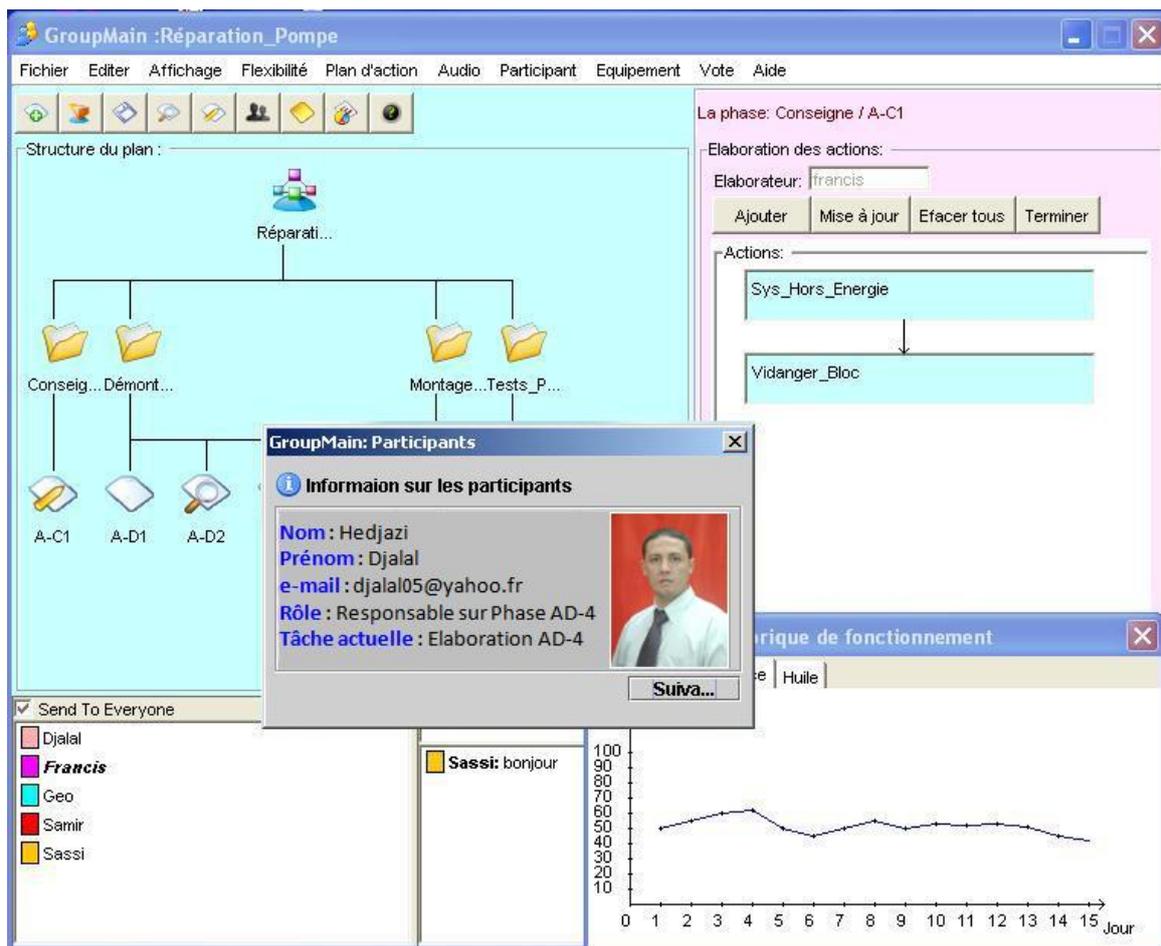


Fig 5.11. Informations sur les experts affectés à une phase

### 5.3.2.2 Engagements et notifications des événements

Le système doit enregistrer les différents engagements établis par les experts pour leur délivrer des notifications à propos d'événements spécifiques qui les intéressent. Cette fonction est accessible via la rubrique du menu « *Rétroaction* ». Les experts peuvent sélectionner une phase spécifique afin d'être prévenus en cas de modifications, de blocage ou un déblocage de cette dernière. Ils peuvent également choisir directement l'événement et spécifier au système de les avertir dès que ce dernier surgit dans l'espace de travail partagé. Par exemple, les experts peuvent établir un engagement (Fig. 5.12) afin de recevoir les modifications apportées à une phase spécifique du PRA.

Nous distinguons un cas typique de notification qui est illustré sur la Fig 5.12 avec les possibilités offertes à un expert qui peut spécifier les événements dont il souhaite être notifié. Par exemple, en ce qui concerne la phase *A-D4*, il spécifie au système

qu'il désire être notifié à chaque fois qu'elle est bloquée mise à jour. Le participant peut également spécifier la manière selon laquelle il veut être informé, soit par des messages à l'écran ou des messages sonores. Enfin, il peut être concentré et décide, pour ne pas être perturbé, de fermer son espace de travail. De cette manière, nous permettons aux participants de contrôler eux-mêmes le degré d'ouverture de leur espace de travail.

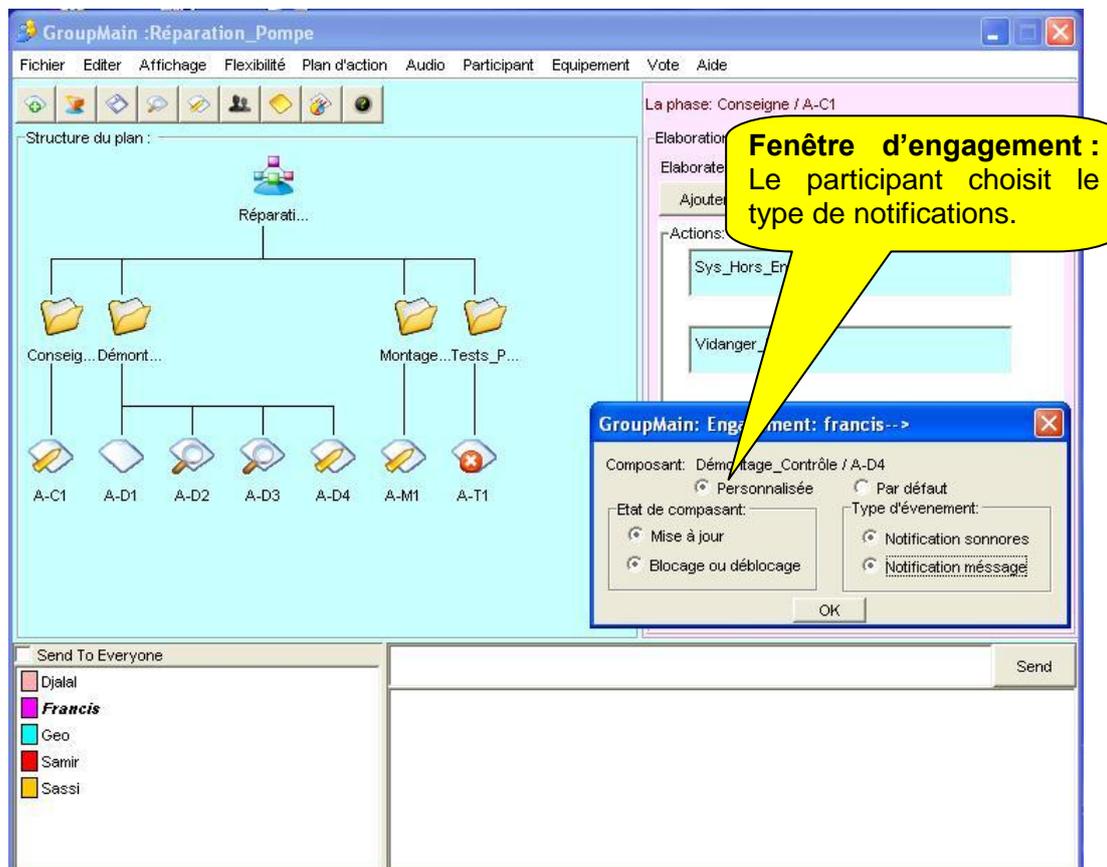


Fig 5.12. Engagements des participants

A chaque fois qu'un expert enregistre ses modifications, il force leur apparition sur les écrans des autres. Par exemple, sur la Fig 5.13, le participant est notifié de l'arrivée de modifications associées à la phase A-D4 conformément à son engagement (Fig 5.12).

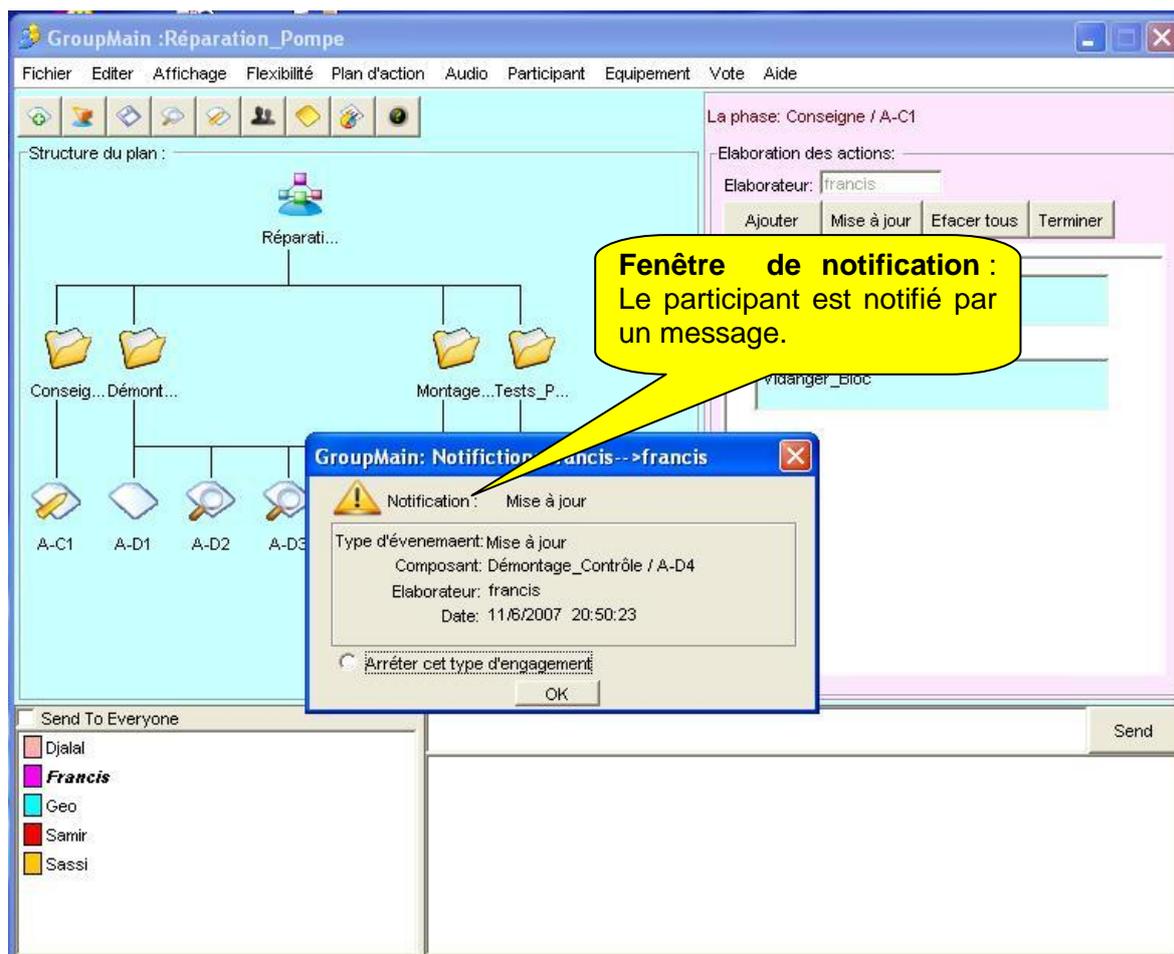
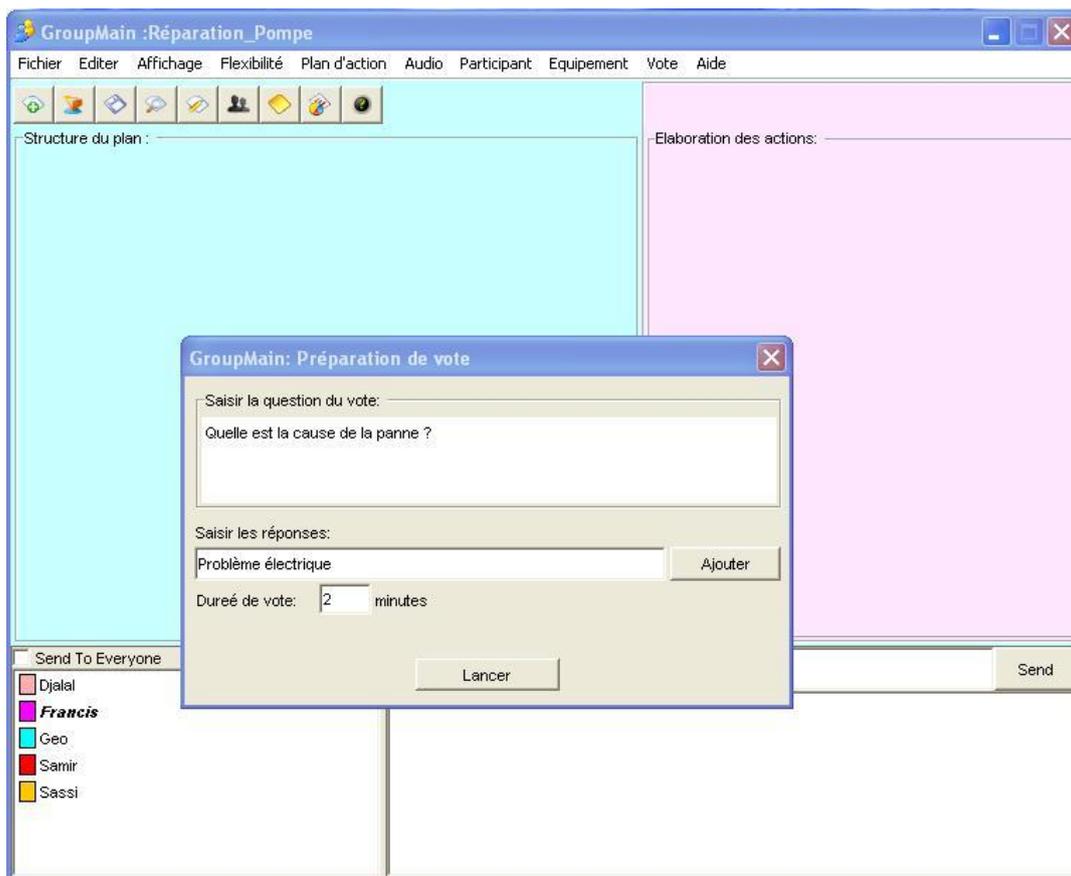


Fig 5.13. Notification des événements

### 5.3.2.3 Outil de vote électronique

GroupMain intègre un outil de vote électronique afin d'assister et accélérer le processus de prise de décisions. Ainsi, cet outil permet de solutionner les problèmes de manière très efficace induis par les situations conflictuelles générés lors de la prise des décisions. Lorsque les participants entrent en conflits autour du choix d'une décision donnée et que chacun d'eux défend son opinion, ils peuvent recourir à l'outil de vote qui les départagera afin que le travail puisse continuer. L'exploitation de cet outil est accessible à travers la rubrique « Préparation Vote » à partir du menu principal, le sujet sera introduit et le vote peut être accomplit à travers la spécification des choix de sélection (Fig 5.14).



**Fig 5.14.** Préparation du vote par le coordinateur

En activant le bouton « Lancer », le panneau de vote est affiché (Fig 5.15) au niveau des interfaces de tous les experts présents en session de collaboration.

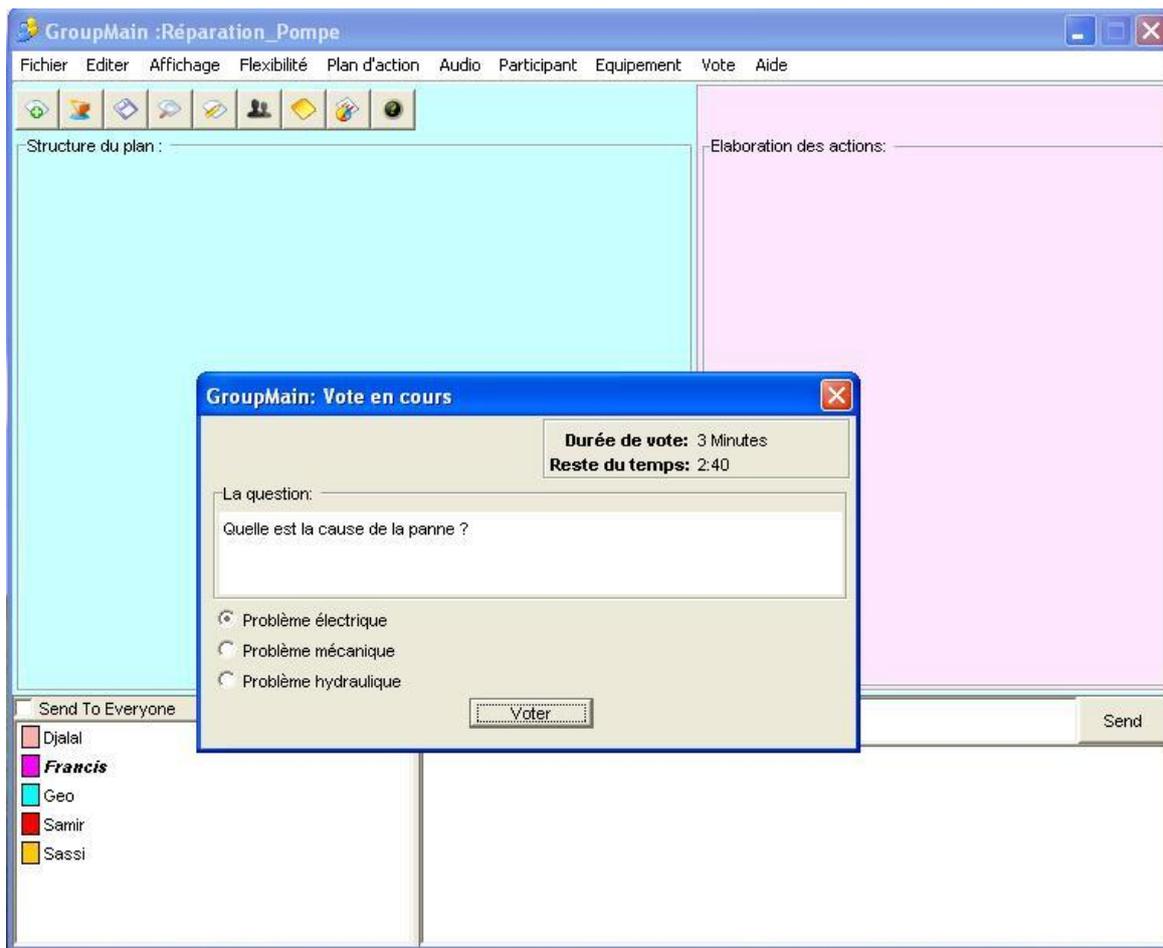


Fig 5.15. Fenêtre du vote chez les experts participants

Le vote à travers cet outil n'est pas obligatoire pour tous les experts actifs. Le résultat de vote est immédiatement transmis à tous les experts participant après l'écoulement de la durée de vote prédéfinie par le *coordinateur* (Fig 5.16).

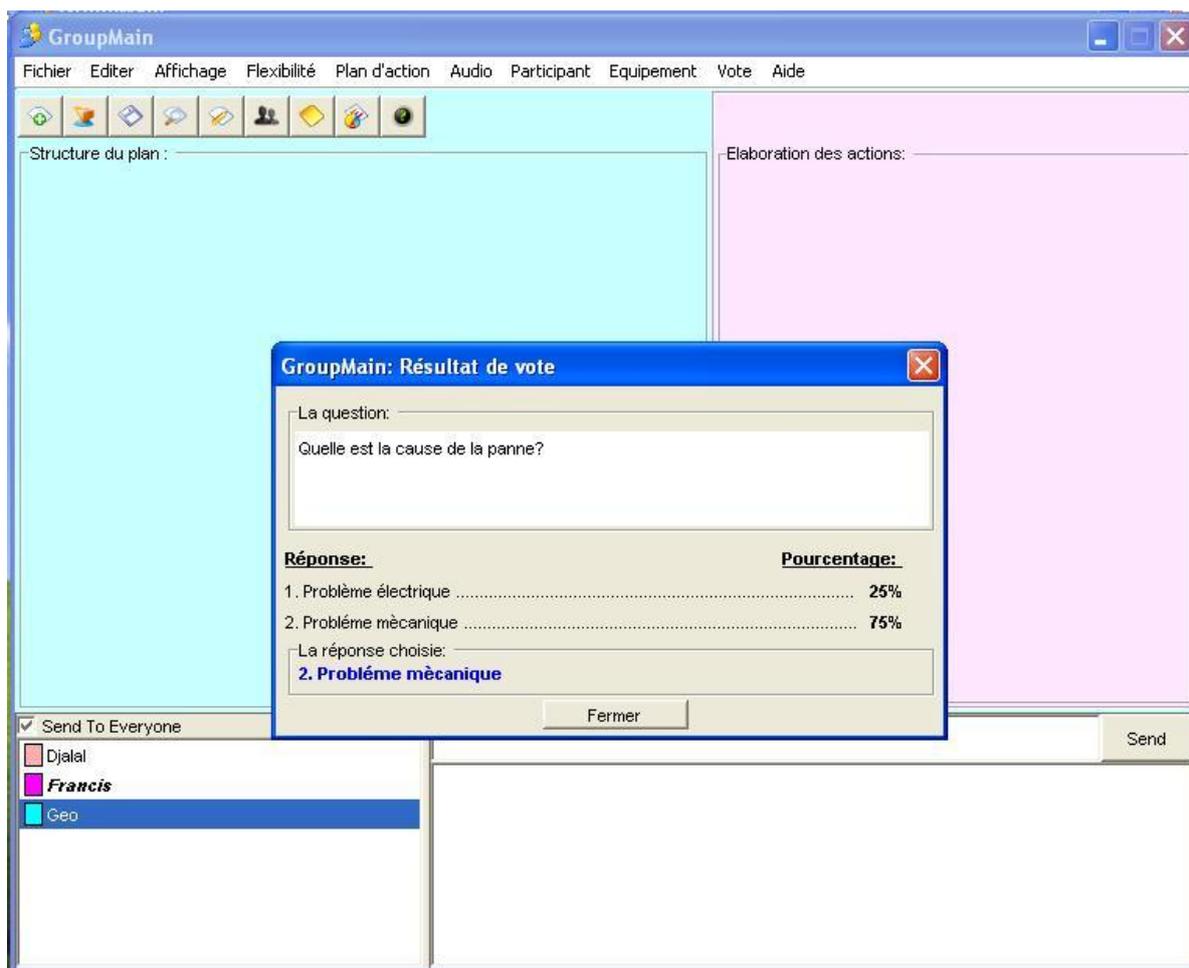


Fig 5.16. Fenêtre des résultats du vote affichée aux experts

## 5.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons longuement insisté sur l'aspect usage des systèmes Groupware, qui constitue un facteur déterminant de leur acceptation par la communauté utilisateurs. Nous avons également précisé l'importance du concept de rétroaction de groupe et son rôle capital de suivi des dynamiques régissant les activités de groupes. De même que nous avons tenu à détailler l'ensemble des fonctionnalités principales de notre système CSITM afin de montrer nos contributions dans le contexte de la télémaintenance industrielle.

Nous avons également tenu à apporter toutes les clarifications requises à propos de notre travail en ce qui concerne la gestion des concepts fondamentaux de coordination, de communication, de négociation et d'interaction de groupe qui ont

été pris en considération par notre système Groupware *GroupMain*. En conséquence, la présentation des différentes vues de l'interface graphique affichées aux différents participants ont été bien explicitées. Ces vues de l'interface décrivent de manière pratique le déroulement du processus de collaboration entre les experts participants engagés dans un projet commun de télémaintenance industrielle.

A ce stade de notre travail, il nous reste à soulever le problème de l'évaluation de notre travail de modélisation et d'implémentation. Cette évaluation nous permettra sans doute de tirer plein d'enseignements de façon concrète sur l'efficacité de notre travail de recherche dans son contexte réel d'usage, à savoir le secteur industriel. Nous pourrions alors trancher concrètement à propos de notre idée d'intégrer le concept Groupware dans des services de maintenance. Par conséquent, l'aspect évaluation de notre contribution constituera à l'avenir une étape cruciale pour la poursuite de l'investigation sur ce sujet.

## Conclusion générale et perspectives

L'objectif principal de la présente thèse a été particulièrement centré autour de la spécification des besoins dictés par le processus de maintenance industrielle à distance, ainsi que l'exploitation des solutions informatiques adéquates pour la supporter. À travers cette étude, nous avons essayé de démontrer les bénéfices, en termes de performance, d'efficacité et de rendement, qu'on peut avoir en exploitant les *TIC* dans le contexte des activités de maintenance industrielle.

A travers notre contribution, nous ne visions nullement solutionner tous les problèmes posés par la tâche de maintenance industrielle. Notre objectif était plutôt de soulager les organisations et leur permettre de bénéficier de l'expertise indépendamment de sa location. Ainsi du côté des experts, ils n'auront plus à fournir des efforts démesurés pour assurer le transfert de leurs savoir-faire et que les entreprises industrielles disposeront à distance de l'expertise nécessaire à la résolution de leurs problèmes industriels.

Un autre objectif tout aussi important concerne la modélisation de situation de travail de groupe et de collaboration. Ce choix est motivé par la complexité des équipements industriels actuels dont la maintenance requiert l'intervention d'équipes pluridisciplinaires coopérantes. Il nous incombe alors de développer des systèmes de télémaintenance industrielle qui mettent les outils de coopération, de

communication, de négociation et de coordination à la portée du personnels industriels (*experts, techniciens et opérateurs*).

Dans cette partie finale, nous dressons un bilan autour de nos activités menées dans le cadre de cette thèse. Notamment à travers la description des contributions essentielles de notre recherche en précisant également les perspectives du travail accompli car il est loin d'être terminé.

## 1. Bilan des travaux et contributions de la thèse

Dans cette thèse, nous avons traité dans le premier chapitre, la problématique générée par la maintenance industrielle. Nous avons notamment exploré l'utilité des nouvelles technologies de l'information et de la communication pour le support de cette problématique. En effet, les notions de télémaintenance et e-maintenance ont été bien expliquées. Dans ce sens, nous avons cherché à cerner au mieux ses caractéristiques pour pouvoir dégager les moyens informatiques susceptibles de soutenir de manière effective les activités de maintenance industrielle. Nous avons également envisagé la possibilité de concevoir des situations de télémaintenance collective. Notamment, en considérant l'activité de maintenance comme un processus social, qui repose sur la coopération et l'interaction entre les différents individus qui la composent.

C'est ainsi, que nous avons explicité dans le deuxième chapitre, les caractéristiques particulières du travail coopératif assisté par ordinateur. Dans ce contexte, notre expérience de recherche dans le domaine nous a amenés à accentuer l'intérêt pour les utilisateurs de pouvoir disposer au sein d'une même application de plusieurs outils accessibles. Les expériences précédentes ont également révélé que la conception d'un support pour la coopération des individus distants doit surtout tenir compte les concepts de flexibilité, de conscience de groupe, de coordination et d'adaptation. De même qu'il faudrait avantager de façon singulière l'objectif qui consiste à contenter autant que possible les usagers d'un point de vue individuel et collectif. Nous pensons que cette étape est fondamentalement nécessaire pour définir des outils supportant l'assistance requise par des experts, des gestionnaires et des techniciens de maintenance impliqués dans des situations de maintenance collective.

Ainsi, nous nous sommes situés dans une perspective de transition des environnements de télémaintenance industrielle aux environnements de

télemaintenance industrielle coopérative. Au regard des indications tirés des deux premiers chapitres, nous avons choisi de fonder notre travail sur la conception de *CSITM* en tenant compte des besoins de l'expert dans son travail de réparation des équipements seul ou en groupe. Dans le troisième chapitre, nous avons alors proposé une modélisation de *CSITM*. Cette modélisation basée sur l'étude des acteurs principaux, l'étude de la dimension organisationnelle, l'étude de la dimension coopération et l'étude de la dimension coordination et conscience de groupe, nous a conduit à prototyper notre système *CSITM*.

La conception de *CSITM* est centrée autour d'une composition complètement modulaire et son organisation architecturale est basée sur les concepts liés au modèle *client-serveur*. Notre démarche consiste à centraliser les données partagées au niveau du serveur. Ceci nous permet de faciliter la gestion de la cohérence des données. En fait, le principal attrait de notre approche est qu'elle nous permet de réduire de façon significative la complexité de mise en œuvre de *CSITM*. Notamment, en intégrant progressivement de nouveaux composants issus de travaux indépendants de ce travail.

La mise à distance d'une maintenance coopérative implique des changements d'ordre organisationnel. A la différence de la maintenance en situation de coprésence traditionnelle, où les informations implicites impliqués dans les conversations vocales, dans les gestes des acteurs constituent le moyens essentiel qui résout ou évacue les problèmes rencontrés par la collaboration. En télemaintenance coopérative, nous pensons qu'il est nécessaire de définir un modèle d'interaction suffisamment flexible pour générer des opportunités de télemaintenance au sein d'un groupe. Par conséquent, nous avons défini plusieurs modes d'interaction à travers lesquels, l'expert peut travailler au sein d'une équipe.

Ainsi, Pour dégager les difficultés liées aux rencontrent des experts les uns des autres en même temps, en même endroit et autour d'un même problème industriel, nous avons également incorporé au sein du *CSITM* le gestionnaire du centre de compétence. Ce dernier nous a permet de mettre en évidence les relations entre les pannes industrielles et les experts de maintenance tout en organisant les sessions de travail coopératif de télemaintenance.

## 2. Etat actuel de développement

Afin de mieux cerner le fonctionnement de *CSITM* ainsi que les choix fondamentaux que nous avons préconisés, nous avons prototypé une première version de ces deux composants en langage *Java* et *PHP* sous la plateforme *Windows XP*. L'expérimentation du système avec les étudiants de 5<sup>ième</sup> année ingénieur a révélé que les participants ont souvent eu critiqués le temps de réponse du Groupware *GroupMain*. Nous pensons que ce type de critique est dû du principe de fonctionnement d'un Groupware implémenté via une architecture logicielle centralisée. Par conséquent, toute opération sur l'espace de travail partagé requiert l'attente de réponse d'un serveur central. Pour faire face à cette limite nous avons également entamé le travail sur une nouvelle démarche de mise en œuvre du *GroupMain* avec les étudiants de fin de cycle ingénieur. Cette démarche se base également sur une architecture logicielle complètement répliquée.

## 3. Protocole d'évaluation

L'expérimentation des systèmes collaboratifs requiert la mobilisation des moyens matériels importants ainsi que l'assistance de plusieurs personnes spécialisés dans diverses disciplines, particulièrement dans les domaines des sciences humaines, en travaillant pendant plusieurs années. Il est donc clair qu'elle représente une tâche longue et coûteuse. Par conséquent, nous avons projeté de construire un protocole préliminaire en perspective d'une éventuelle évaluation, qui fera sans doute l'objet d'une thèse à part complètera notre travail de recherche.

À travers l'évaluation du *CSITM*, nous devons atteindre deux objectifs essentiels. Il faudrait pouvoir recueillir des informations sur le système pour comprendre comment il est perçu par les utilisateurs. Ensuite, il faudrait mesurer son aptitude à supporter la coopération entre les participants. Par conséquent, le travail d'évaluation devra considérer :

1. *Organisation du groupe* : Il faut discuter avec les utilisateurs des aspects associés à l'organisation du groupe. L'objectif recherché est de comprendre si *CSITM* favorise effectivement l'installation des règles sociales et permet une coopération naturelle. Cette stratégie peut nous apporter plein d'enseignements à exploiter.

2. *Fonctionnalités* : Il faudrait mener une étude basée sur des interviews avec les utilisateurs pour vérifier si les fonctionnalités de *CSITM* répondent à leurs besoins, s'il faut en développer certaines ou en rajouter de nouvelles.
3. *Interface utilisateur de CSITM* : Il faudrait collecter les avis des experts participants à la fin de chaque session de travail à propos des différentes vues de l'interface, de la réaction du système, des possibilités mises en œuvre pour faciliter le processus d'élaboration de l'expertise, etc.

#### 4. Conclusions et perspectives

Dans cette thèse, nous avons présenté les concepts de base de la modélisation et la conception du système coopératif *CSITM*. Nous avons largement montré qu'il permet à plusieurs experts participants de collaborer au sein d'un espace de coopération, de même qu'il permet aussi bien aux actions individuelles que collectives de s'articuler sur une tâche commune d'élaboration d'une solution réparatrice à un problème industriel signalé. Nous avons également appuyé notre approche par la mise en œuvre du Groupware *GroupMain* permettant la coopération des experts de façon coordonnée autour d'un projet de télémaintenance.

Toutefois, la disponibilité des experts pour se retrouver au même endroit et au même moment est incertaine. Ainsi, pour faire face à cette problématique, nous avons adopté une approche basée sur la mise en place d'un serveur de centre de compétence. Le gestionnaire du centre de compétence se charge principalement de la mise à la disposition des différents acteurs impliqués par le processus de télémaintenance les moyens de déclaration des pannes industrielles détectées, de construction des groupes d'experts, de l'organisation des membres de ces groupes, de l'organisation des sessions de coopération, etc.

Ainsi, nous avons présenté les concepts de base de la conception de l'outil coopératif *GroupMain*. L'exploitation de la structure du *PRA* a été largement discutée, car elle permet d'informer de manière concrète les utilisateurs de leurs actions mutuelles. Au niveau visuel, l'association des icônes aux différentes phases du *PRA* facilite la tâche des participants et leur permet de déduire intuitivement leurs états respectifs ainsi que le mode de coopération appliqué.

Au cours d'une session de travail, les experts participants peuvent changer de rôle, échanger dynamiquement des phases et interagir à travers les différents modes de

coopération définis. Cette flexibilité est imposée par la nécessité de centrer *GroupMain* sur la dynamique impliquée par le processus de maintenance. Par ailleurs, l'intégration du mécanisme de communication vocale au sein de l'outil permet aux participants de combiner la communication et l'accomplissement de leurs tâches.

Conscients de l'intérêt d'expérimenter *GroupMain* dans des situations réelles de télémaintenance industrielle, nous souhaitons pouvoir recueillir, à plus long terme, des informations sur les activités effectives des hommes de maintenance. Ceci est d'une importance extrême pour nous et constitue un objectif double. Premièrement, nous pouvons valider ou remettre en cause certains choix techniques parmi ceux que nous avons discutés dans cette thèse. Ensuite, nous pourrions déterminer avec plus de précisions les ajustements et les adaptations devant être apportés aux supports que nous avons intégrés dans *GroupMain*. A ce sujet nous avons choisi une architecture modulaire et donc évolutive, dans le sens où elle facilite la conception de nouveaux modules et leurs intégrations de manière incrémentale.

Actuellement, nous sommes entrain d'affiner les fonctionnalités existantes. Notre souhait serait de pouvoir recueillir l'avis des participants à propos du canal audio s'il peut vraiment les aider à discuter du travail. Nous pensons que ce type de support constituera un vecteur de communication et de coordination efficace.

Par ailleurs, et pour d'avantage d'efficacité, nous comptons accroître les opportunités de communications pour tenir compte de la gestuelle, le contact visuel et l'expression du visage, etc. Par conséquent, nous envisageons d'intégrer la communication vidéo pour assurer une communication naturelle entre les experts. Ceci permettra sans doute aux règles sociales de s'installer naturellement et complétera les mécanismes de coordination que nous avons développés. Enfin, à plus long terme, nos recherches visent à adapter *CSITM* pour la télémaintenance coopérative sur Internet.

Pour mieux appréhender le fonctionnement de notre système, nous avons développé une première version en *Java*. Les tests accomplis sur cette version sur un réseau local donnent une bonne idée des possibilités de collaboration et de coordination. Cependant, il est souhaitable de mener une expérimentation effective en situation afin de cerner au mieux les besoins des usagers et de mesurer objectivement l'intérêt de notre démarche de conception.

## Références

- [ABB 03] ABBOU A., «contribution a la mise en œuvre d'une maintenance centralisée : conception et optimisation d'un atelier de maintenance », Thèse de doctorat, Université de Joseph Fourier - GRENOBLE 1, Octobre 2003.
- [ADA 05] Adams, J., Rogers, B., Hayne, S., Mark, G., Nash, J., Leifer, L., « The effect of a telepointer on student performance and preference », *Computers & Education*, Elseiver, 44, pp 34-51, 2005.
- [AFN 01] Norme AFNOR, « Terminologie de la maintenance », NF-EN 13306. X60-319, 57p, Juin 2001.
- [AFN 77] Norme AFNOR, "Statistique et Qualité, introduction à la fiabilité",X NF, 06-501, Novembre 1977.
- [ALI 02] A. Ali, Z. Chen, J Lee, and M. Koç, "Web-enabled device-to-business platform for distributed and dynamic decision making systems," In: *Proceedings of MIM'2002 – fifth international conference in managing innovative manufacturing*, Milwaukee, USA, 2002. p. 157-69.
- [BAK 05] Baker. H., Bhatti. N., Tanguay. D., Sobel. I., Gelb. D., Goss. M. E., Culbertson. W. B and Malzbender. T. Understanding performance in Coliseum, an immersive video conferencing system. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 1(2):190--210, May 2005.

- [BAL 04a] Baldwin RC. How do you spell e-maintenance? ([www.mt-online.com](http://www.mt-online.com)), 2004.
- [BAL 04b] R. C. Baldwin, "Enabling an E-maintenance infrastructure," 2004, ([www.mt-online.com](http://www.mt-online.com)).
- [BAL 96] Balter, R., Benatallah, S., Kanawati, R. et Riveill, M., CoopScan : Une plateforme générique pour la construction de Groupwares, Rapport technique, RT-9-Sirac, Imag-Inria, 1996.
- [BAN 06] Bangemann T, Reboul D, Scymanski J, Thomesse J-P, Zerhouni N. PROTEUS – An integration platform for distributed maintenance systems. *Comput Ind [special issue on e-maintenance]* 2006; 57(6):539-51.
- [BAR 04] Barley S. R., Sara Kiesler S., Robert E. Kraut R. E. « Does CSCW Need Organization Theory ? », (CSCW'04) Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work, ACM Press, pp.122-124, Chicago, Illinois, USA, 2004.
- [BEA 92] Beaudouin-Lafon M., Karsenty A. (1992), «Transparency and awareness in a real-time groupware system», Proceedings of the ACM Symposium on User Interface software and Technology UIST'92, New York, pp. 171-180.
- [BEN 05] BENBOUZID SITAYEB F., Contribution a l'étude de la performance et De la robustesse des ordonnancements Conjointes production/maintenance - Cas du flow shop, thèse de doctorat, l'Université de Franche-Comté, Juin 2005.
- [BEN 94a] Bentley R., Rodden T., Sawyer P., Sommerville I. Architectural support for cooperative multi-user interfaces. *Computer*, 27 (1994), 5, p. 37-45.
- [BEN 94b] Bentley, R.M., Supporting multi-user interface development for cooperative systems. Ph.D. thesis, Department of Computing, Lancaster University, Lancaster, UK, 1994.
- [BER 04] Bernard, S., « Spécification d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite ~ application à l'industrie aéronautique européenne », Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers, 2004.
- [BON 90] Bond A., « A computational model for organizations of cooperating intelligent agents », Proceedings of the Conference on Office information Systems, ACM Press, pp.21- 0, Cambridge, Massachusetts, United States, 1990.

- [BOU 01] Boussejra M., « La gestion de l'information pour la télémaintenance et le télédiagnostic coopératif », Mémoire de Master, Université De Franche-Comté, France, 2001.
- [BRA 06] Brahma, M., Chaudier, M., Garcia, E., Gelas, J., Guyennet, H., Hantz, F., Lefevre, L., Lorenz, P., Tobiet, H., TEMIC: a New Cooperative Platform for Industrial Tele-Maintenance, Distributed Frameworks for Multimedia Applications, pages 1- 9, 2006.
- [CAM 05] Campos J, Prakash O. Information and communication technologies in condition monitoring and maintenance – a review. In: Preprints of the IFAC symposium INCOM06. 17-19 May, Saint Etienne, France, 2005.
- [CHA 06] Chatting. D. J., J. S. Galpin, and J. S. Donath. Presence and portrayal: video for casual home dialogues. In MULTIMEDIA '06: Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia, pages 395-401, New York, NY, USA, 2006. ACM Press.
- [COL 92] D. Coleman, R. Shapiro, "Defining Groupware", Special Advertising Section to Network World, Juin 1992.
- [CON 87] Conklin J., « Hypertext : An Introduction And Survey. », pp. 17-40, in IEEE Computer, vol. 20, n°9, Septembre 1987.
- [CUM 03] Cummings J., Kiesler S., « Coordination and success in multidisciplinary scientific collaborations », International Conference on Information Systems (ICIS), Seattle, WA: Association for Information Systems, 2003.
- [DAN 06] Daniel Racoceanu, « Contribution à la surveillance des Systèmes de Production en utilisant les Techniques de l'Intelligence Artificielle », Habilitation à diriger les recherches, l'Université de FRANCHE-COMTÉ de Besançon, 2006.
- [DAV 01] David B. T. IHM pour les Groupwares. In Réseaux et Systèmes Répartis, Hermès, Paris, vol. 13, novembre 2001, pp. 169-206.
- [DAV 03a] David B., Chalon R., Vaisman G., Delotte O. Capillary CSCW. In Stephanidis C., Jacko J., (Eds.) Human-Computer Interaction Theory and Practice Vol. 2, LEA, London, pp. 879-883.
- [DAV 03b] David B., Chalon R., Delotte O., Ros J., Boutros N. Travail coopératif capillaire en dépannage, maintenance et interventions de crise. In Actes du 5ème Congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada. Octobre 2003.

- [DAV 96] David B.T., Tarpin-Bernard F., Vial C. Ergonomie du Travail coopératif en conception. In Actes de la conférence ERGO'IA 1996.
- [DEC 04] L. Déchamp, "On the use of artificial intelligence for prognosis and diagnosis in the PROTEUS E-maintenance platform, "In: Proceedings of the international conference on mechatronics and robotics (MECHROB'04), Aachen, Germany, 2004.
- [DEC 96] Decréton M., De Geeter J., « Remote Maintenance of Future Fusion Reactors, A Challenge for Rad-Hard Components and Smart Control Strategies», International Conference on Remote Techniques for Hazardous Environments, Leicester, pp. 99-106, 1996.
- [DES 93] Desnoyers L., 1993, Les indicateurs et les traces de l'activité collective. In F. Six, x. Vaxevanoglou (Eds), Les aspects collectifs du travail. Editions Octarès, Toulouse.
- [DEW 95] Dewan P., Choudhary R. Coupling the user interfaces of a multiuser program. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2 (March 1995), 1, p. 1-39.
- [DIA 98] Diaz M., Mammeri Z., Thomesse J-P. Communication de groupe dans les applications multimédias coopératives : une synthèse. In Colloque international sur les Nouvelles Technologies de la REpartition Montréal NOTERE'98, Québec, Octobre 1998.
- [DIX 97] Dix, A. Challenges for Cooperative Work on the Web: An analytical approach. Computer Supported Cooperative Work: The Journal of Collaborative Computing, Kluwer Academic Publishers v.6, n.2-3, pp.135-156, 1997. ISSN 0925-9724.
- [DOM 99] Dommel H. P., Garcia-Luna-Aceves J. J., « Group Coordination Support for Internet collaboration». In: IEEE Internet Computing Magazine, Special Issue on Multimedia and Collaborative Computing over the Internet, Vol. 3, No. 2, 1999, pp. 74-80.
- [DOU 00] Dourish, P., Edwards, W.K. "A tale of two toolkits: Relating infrastructure and use in flexible CSCW toolkits" Computer Supported Cooperative Work: The Journal of Collaborative Computing, Kluwer Academic Publishers v.9, n.1, pp.33-51, 2000- ISSN 0925-9724.
- [DOU 92a] Dourish P., Bellotti V. Awareness and Coordination in Shared Workspaces, Proceedings of the ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work (CSCW-92), Toronto, Ontario, 1992, ACM Press, p. 107-114.

- [DOU 92b] Dourish P., Bly S., « Portholes: Supporting Awareness in A Distributed Work Group », Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'92), Monterey, ACM Press, pp. 541-547, 1992.
- [DRI 01] Drira K., Martelli A., Villemur T., « Cooperative Environments for Distributed Systems Engineering», The Distributed System Engineering Report, State of the Art Survey. In : Lecture Notes in Computer Sciences, Vol. 2236, N°ISBN 3-540-43083-0, Springer, 2001.
- [ERI 03] Erik Andriessen, J.H., « Working with Groupware», Edition Springer, 2003.
- [EDW 96] Edwards, W.K. "Policies and Roles in Collaborative Applications" ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'96), ACM press pp.11-20, Boston (USA), ISBN 0-89791-765-0, Nov. 1996.
- [ELL 91] Ellis C., Gibbs S.J., Rein G.L. Groupware: some issues and experiences. In Communications of the ACM, vol. 34, n° 1, Jan. 1991, pp. 38-58.
- [ELL 94] Ellis C., Wainer J. A conceptual model of Groupware. In Proceedings of CSCW'94, ACM Press, pp. 79-88.
- [ERM 01] Ermine J.L., (2001), Les processus de la gestion des connaissances, Extraction et gestion des connaissances, H. Briand, F. Guillet (éd.), Hermès.
- [GAB 85] Gabriel M., Pimor Y., « Maintenance assistée par ordinateur », Edition Masson, Paris, 1985.
- [GAR 04] Garcia E, Guyennet H, Lapayre J-C, Zerhouni N. A new industrial cooperative tele-maintenance platform. Comput Ind Eng 2004;46(4): 851-64.
- [GAR 06] Garcia A., Noyes D., « Impact des technologies d'information et de communication sur un système décisionnel : cas de la maintenance », 6e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation - MOSIM'06 - Rabat- Maroc, avril 2006
- [GOM 06] GOMES, R. L., « LEICA : Un environnement faiblement couplé pour l'intégration d'applications collaboratives », Thèse de Doctorat, l'Université Paul Sabatier, juin 2006.
- [GON 98] Goncharenko, « Remote maintenance for MI », Proceedings of the First International symposium on environmentally conscious

- design and inverse manufacturing, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Tokyo, Japan, 1998.
- [GRE 04] Greenberg, S., "Enhancing creativity with (groupware) toolkits", January 2004. Proceedings of the fifth conference on Australasian user interface - Volume 28 AUIC '04. Publisher: Australian Computer Society, Inc.
- [GRE 07] A. Crespo Marquez, "The maintenance management framework: Methods and models for complex systems maintenance," Livre edition: London: Springer; 2007.
- [GRE 89] S. Greenberg, "The 1988 Conference on Computer Supported Cooperative Work: Trip Report", ACM SIGCHI Bulletin, (1989), 20(5), pp. 49-55.
- [GRE 92a] S. Greenberg, E. Chang, Computer Support for Real Time Collaborative Work. *Congressus Numerantium*, 75, pp. 247-262, June 1992.
- [GRE 92b] S. Greenberg, H. Thimbleby, "The Weak Science Of Human-Computer Interactions", In CHI '92 Research Symposium on Human Computer Interaction, Monterey, California, May 1992.
- [GRE 96] Greenberg S., Gutwin C., Cockburn A., « Awareness Trough Fisheye Views in Relaxed-WYSIWIS Groupware », Proceedings of the Graphics Interface, Toronto, Canada, pp. 28-38, 1996.
- [GRO 95] Gros P., Bolik K., Boussetta K., « Architecture for collaborative applications management », Technical report, Eurecom, April 1995.
- [GRU 94] Grudin J., « Groupware and social dynamics: Eight challenges for developers », *Communications of the ACM*, volume 37, n° 1, pp. 92-105, 1994.
- [GUT 02] Gutwin, C. and S. Greenberg (2002): A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware. *Computer-Supported Cooperative Work*, nos. 3-4, pp. 411- 446.
- [GUT 96] Gutwin, C., S. Greenberg and M. Roseman (1996): Workspace Awareness in Real-Time Distributed Groupware: Framework, Widgets and Evaluation. In HCI'96. Proceedings of the Conference on People and Computers. New York: Springer-Verlag, pp. 281-298.
- [GUT 98] Gutwin, C. and S. Greenberg (1998): Effects of Awareness Support on Groupware Usability. In CHI'98. Proceedings of the

- Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, pp. 511-518.
- [GUY 99] Guyennet, H., Garcia, E., & Lapayre, J. C. (1999). Multimedia integration in cooperative work. Proceedings of the fifth international conference on information systems analysis and synthesis, ISAS99, Orlando, USA.
- [HAN 06] T. Han, and B. S. Yang, "Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques," *Comput Ind - special issue on emaintenance*. 2006;57(6):569-80.
- [HAU 04] I. Hausladen, and C. Bechheim, "E-maintenance platform as a basis for business process integration," In: Proceedings of INDIN04, second IEEE international conference on industrial informatics, Berlin, Germany, 2004. p. 46-51.
- [HED 07a] Hedjazi, D., Zidani, A., Bousedjra M., « Proposition d'un protocole de gestion d'un groupe d'experts pour la télémaintenance industrielle coopérative », JOSIM'07, Oran, Algérie, Mars 2007.
- [HED 07b] Hedjazi, D., Zidani, A., Bousedjra M., Bouzgou L., Ghellab D. « Maintenance industrielle coopérative assistée par les TIC : Gestion de l'information », STMM'07, Bordj El-Bahri (Alger), Algérie, Mai 2007.
- [HED 08a] Hedjazi, D., Zidani, A., Bousedjra M., Proposition d'un scénario pour la télémaintenance industrielle coopérative, 6ème Séminaire National en Informatique Biskra (SNIB2008), Biskra, Algérie, Mai 2008.
- [HED 08b] Hedjazi, D., Zidani, A., Bousedjra, M., A new collaborative system for industrial tele-maintenance, », *International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S.)*, Vol. 3, n. 5, pp 523-531, September 2008.
- [HED 09] Hedjazi, D., Zidani, A., « Coordination et conscience collective au sein d'un groupware de télémaintenance », *International Conference on Systems and Processing Information*, guelma, algerie, Mai 2009.
- [HIL 93] R.D. Hill, T. Brinck, J.F. Patterson, S.L. Rohall, W.T. Wilner, The Rendezvous language and architecture. *Communication. ACM*, vol 36, n° 1, (January 1993), pp 62-67.
- [HUM 00] Hummes, J., Merialdo, B. "Design of extensible component-based groupware" *Computer Supported Cooperative Work: The Journal*

- of Collaborative Computing, Kluwer Academic Publishers v.9, n.1, pp.53-74, 2000-ISSN 0925-9724.
- [HUT 95] Hutchins E., « Cognition in the Wild », Cambridge, MA, MIT Press, 1995.
- [IRM 06] Irma Becerra-Fernandez « Searching for Experts on the Web: A Review of Contemporary Expertise Locator Systems », ACM Transactions on Internet Technology, volume 6, n° 4, pp. 333-355, 2006.
- [IUN 06] B. Iung, and A. Crespo Marquez, "Special issue on e-maintenance," *Comput Ind* 2006;57(6):473-606.
- [IUN 07] B. Iung, E Levrat, A. Crespo Marquez, and H. Erbe, "A first conceptual framework for E-maintenance," In: Proceedings of the IFAC international conference cost effective automation in networked product development and manufacturing, Monterrey, Mexico, October 2-5, 2007.
- [IVA 01] Ivanov A., « Description et modélisation des systèmes de télémaintenance », mémoire de DEA, IAP, 2001.
- [IVA 06] Ivana R., « Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance », Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Juillet 2006.
- [IVA 08] Ivanov A., Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance, Thèse de Doctorat, l'Université de Franche-Comté, 2008.
- [JAR 06] Jardine A, Lin D, Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mech Syst Signal Process* 2006;20(7):1483-510.
- [KAF 01] Kafel H., D'Amours S. et Ait-Kadi D., 2001, The Concept of Distributed Maintenance, 29<sup>th</sup> International conferences of Computers & Industrial Engineering, November 1-3, Montreal Canada.
- [KAH 00] Kahler, H., Mørch, A., Stiemerling, O., Wulf, V. "Introduction to the Special Issue on Special Issue on Tailorable Systems and Cooperative Work" *Computer Supported Cooperative Work: The Journal of Collaborative Computing*, Kluwer Academic Publishers-v.9, n.1. pp.1-4, 2000-ISSN 0925-9724.

- [KAH 03] Kahn J., Overview of MIMOSA and the Open System Architecture for Enterprise Application Integration. Proc. of COMADEM 2003, pp. 661-670, Växjö University, Sweden, 2003.
- [KAR 94] Karsenty A. Le Groupware: de l'interaction homme-machine à la communication homme-homme. In *Technique et Science Informatique (TSI)*, vol. 13, n° 1, pp. 105-127, 1994.
- [KOC 01] M. Koç, and J. Lee, "A system framework for next-generation emaintenance system," In: *Proceedings of the second international symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing*, Tokyo, Japan, 2001.
- [KOL 92] Kolski, C., Millot P., « Decision aid criteria to integrate a telemaintenance tool into the maintenance man-machine system », S. Kumar (Ed.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV*, Taylor & Francis, London, pp. 51-58, 1992.
- [KOL 93] Kolski C., Millot P., «Problems in telemaintenance and decision aid criteria for telemaintenance system design», *International Journal of Industrial Ergonomics*, volume 11, n° 2, pp. 99-106, 1993.
- [LAU 02] Laurillau, Y. «Conception et réalisation logicielles pour les collecticiels centrées sur l'activité de groupe : le modèle et la plateforme Clover», Thèse de doctorat Informatique, Université Joseph Fourier - Grenoble I, Grenoble, France, Septembre 2002
- [LEB 08] Le Boterf, G., « Construire les compétences individuelles et collectives », Eyrolles, Editions d'Organisation, Paris, 2008.
- [LEG 01] Léger J.-B., Morel G. Intégration of maintenance in the enterprise : towards an enterprise modeling based framework compliant with proactive maintenance strategy. *Production Planning & Control*, Volume 12, n°2, pp 176-187, 2001.
- [LEG 04] J-B. Léger, "A case study of remote diagnosis and e-maintenance information system," In: *Proceedings International conference on intelligent maintenance systems (IMS'2004)*, Arles, France, 2004.
- [LEV 04] Levrat E. TELMA Plate forme de TELeMAintenance AIP PRIMECA Pôle Lorrain, Journées bilan des actions soutenues par l'Institut Ouvert du réseau AIP PRIMECA, Toulouse, France 28-29 septembre 2004.
- [LEV 05] E. Levrat, B. Salzemann, F. Clanché2, J.Y. Bron, TELMA Plate-forme d'intégration de télémaintenance pour l'enseignement et la recherche, CETSIS'2005, Nancy, France, 25-27 octobre 2005.

- [LI 05] Y. Li, L. Chun, A Nee, and Y. Ching, "An agent-based platform for webenabled equipment predictive maintenance," In: Proceedings of IAT'05 IEEE/WIC/ACM international conference on intelligent agent technology, Compiègne, France, 2005.
- [LIE 00] Liechti O., (2000), «Awareness and the www : an overview», ACM - SIGGROUP, n°3, vol. 21, pp. 3-12.
- [MAC 94] Macchi M, Garetti M. Benchmarking maintenance policies in complex production systems. *Comput Ind [special issue on e-maintenance]* 2006;57(6):581-94.
- [MAL 90] Malone T-W., Growston K., What is coordination theory and how it help design cooperative work systems ? In Proceedings of the ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work, 357-370, 1990.
- [MAL 94] Malone T-W., Growston K., The interdisciplinary study of coordination, *ACM Computing Surveys*, 26(1), 87-119, 1994.
- [MAL 95] Malone, T.W., Lai, K.Y., and Fry, C. "Experiments with Oval: A Radically Tailorable Tool for Cooperative Work" *ACM Transactions on Information Systems*, ACM press v.13, n.2, pp.177-205, 1995.
- [MAR 07] Marmier F., « Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multi-critère », Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Décembre 2007.
- [MAR 90] Markus M.L., Connolly T. Why CSCW applications fail : Problems in the adoption of interdependent work tools. In *CSCW'90*, p. 371-380.
- [MIL 97] Millot P., Hoc J-M., Human-machine cooperation : Metaphor or possible reality? In proceedings of the second European Conference on Cognitive Science, pages 165-174, Manchester - U.K, January 1997.
- [MIT 98] Mitchell J, Bond T, Bever K, Manning N. MIMOSA –four years later. *Sound Vib* 1998:12-21.
- [MON 00] Monchy F., Maintenance - méthodes and organization. Dunod, Paris, 2000.
- [MOO 06] W. J. Moore, and A. G. Starr, "An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities," *Comput Ind - special issue on e-maintenance*, 2006;57(6):595-606.

- [MUL 05] Muller A., Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, juin, 2005.
- [MUL 06] A. Muller, M. C. Suhner, and B. Iung, "Proactive maintenance for industrial system operation based on a formalised prognosis process," *Reliab Eng Syst Safety*, 2006.
- [MUL 07] Muller A., Adolfo Crespo Marquez A., Lung B. On the concept of e-maintenance: Review and current research, *Reliability Engineering and System Safety*, 2007.
- [NEW 72] Newell A., Simon H.A., « Human Problem Solving », Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1972.
- [PAL 03] Palen, L. Grudin, J. "Discretionary adoption of group support software: lessons from calendar applications" *Implementing collaboration technologies in industry: case examples and lessons learned* (Bjørn Erik Munkvold ed.), Springer-Verlag pp.159-179, 2003-ISBN 1-85233-418-5.
- [PAT 96] Patterson, John, Day, Mark et Kucan, Jakov. Notification Servers for Synchronous Groupware. Actes de la conférence ACM Computer Supported Cooperative Work (CSCW'96), 1996, pages 122-129, ACM Press.
- [PAV 94] Pavard B., Systèmes coopératives : de la modélisation à la conception. Octarès Editions, Toulouse, 1994.
- [PEN 90] Peng Y., Reggia J.A, « Abductive Inference Models For Diagnostic Problem Solving », , ACM Press , volume 2 , n° 1, pp. 72-75, Springer Verlag New York ,1990.
- [PER 99] Perrenoud, P., « Construire des compétences, tout un programme. », *Vie pédagogique*, 112, 16-20, 1999.
- [PIN 03] Pinelle D., Gutwin C., Greenberg S., « Task Analysis for Groupware Usability Evaluation: Modeling Shared-Workspace Tasks with the Mechanics of Collaboration», *Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, ACM Press, volume 10, n°4, pp. 281-311, 2003.
- [PRI 94] Primet, P., Akkouche, S., Réflexions autour du Concept de Télépointeur et Réalisation d'un Outil coopératif de Désignation. Actes de la conférence IHM, Lille, France, 1994.
- [RAM 03] Ramus W, Neroda J. E-diagnostics: the value proposition story. *Semiconductor International*, 2003.

- [RAM 08] Ramin K., « A Service-Oriented Approach to eMaintenance of Complex Technical Systems », Thèse de doctorat, Université de technologie de Lulea, Novembre 2008.
- [RAM 98] Ramduny, D., Dix, A., Rodden, T., Exploring the Design Space for Notification Servers. ACM conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'98), pages 227-235, 1998.
- [RAS 07] Rasovska, I., Chebel-Morello, B., Zerhouni, N., Classification des différentes architectures en maintenance, 7e Congrès international de génie industriel, Québec, Canada, juin 2007
- [RIC 96] Richet D. & Gabriel M., Maintenance basée sur la fiabilité. Edition Masson, 1996.
- [ROB 93] G.G. Robertson, S.K. Card, J.D. Mackinlay, Information visualization using 3D interactive animation. Communication. ACM, vol 36, n° 4, (April 1993), pp 57-71.
- [ROS 93a] M. Roseman, S. Greenberg, Flexible Groupware Through Open Protocols. Communication. ACM, (October 1993).
- [ROS 93b] M. Roseman, S. Yitbarek, S. Greenberg, GROUPKIT REFERENCE MANUAL : A Guide to its Architecture, Interprocess Communications, and Programs. Report, University of Calgary, (October 1993).
- [ROS 96] Roseman M., Greenberg S. Building Real-Time Groupware With GroupKit, a Groupware Toolkit. Proceedings of the ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 3, n° 1, March 1996, p. 66-106.
- [SAI 02] Saint-Voirin D., « Modélisation des approches de coopération en télémaintenance : étude et contribution », mémoire de DEA, LAB de Besançon, France, 2002
- [SAI 05a] Saint-Voirin D, Lang C, Zerhouni N, Guyennet H. Cooperative systems modelling, example of a cooperative e-maintenance system. In: Proceedings of CIRA 2005 – computational intelligence in robotics and automation, Espoo, Finland, 2005. p. 439-44.
- [SAI 05b] Saint-Voirin D., Lang C. et Zerhouni N. Distributed cooperative systems meta-model for maintenance using Petri nets and multi-agent systems. International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications (DFMA'05), Besançon, France, 2005.

- [SAI 06] Saint-Voirin D., «Contribution à la modélisation et l'analyse des systèmes coopératifs : application à la e-maintenance », Thèse de doctorat, université de Franche- Comté, 2006.
- [SAL 02] Salembier P., « Cadres conceptuels et méthodologiques pour l'analyse, la modélisation et l'instrumentation des activités coopératives situées », *Systèmes d'information et Management (SIM)*, volume 7, n°2, pp. 37-56, Toulouse, 2002.
- [SAL 95] Salber D., Coutaz J., Decouchant D. Riveill M. De l'observabilité et de l'honnêteté dans la communication homme-homme médiatisée. In *Proceedings of Septièmes Journées sur l'Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine IHM'95*, Toulouse, France, Toulouse: Cépaduès, pp. 27-33.
- [SCH 07] Schümmer, T. and Lukosch, *Patterns for Computer-Mediated Interaction*. Wiley & Sons Ltd, 2007, Chapter 6,504-525.
- [SCH 96] K. Schmidt et C. Simone. Coordination mechanisms: towards a conceptual foundation of CSCW systems design. *CSCW: the journal of collaborative computing* (5), Kluwer Academic Publishers, pages 155-200, 1996.
- [SHE 02] Shen, H., Sun, C. "Flexible notification for collaborative systems" *ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'02)*, ACM press pp.77-86, New Orleans (USA), 2002-ISBN:1-58113-560-2.
- [SHE 04] Shen, C. Vernier, F.D. Forlines, C., Ringel, M. "DiamondSpin: an extensible toolkit for around-the-table interaction" *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'04)*, ACM press. pp.167-174, Vienna (Austria), 2004-ISBN 1-58113-702-8.
- [SOH 98] Sohlenkamp M., (1998), *Supporting group awareness in multi-user environments through percetualization*. Dissertation Fachbereich Mathematik-Informatik der Universität- Gesamthochschule-Paderborn.
- [STA 00] G. Stahl, "Collaborative information environments to support knowledge construction by communities," *AI & Society*, 14 , pp. 1-27, 2000.
- [STE 87] Stefik, M., Bobrow, G., Kahn, K., Lanning, S. et Suchman, L., *Beyond the chalkboard: Computer support for collaboration and problem solving in meetings*, *Communication of ACM*, vol. 30, N° 1, pp. 32-47, 1987.

- [SUN 99] Sun Microsystems. « Java Media Framework API Guide », [*en ligne*], 19 nov. 1999. Disponible sur <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/2.1.1/guide/JMFTOC.html> (consulté le 25/11/2008).
- [TAD 96] Tobyhanna Army Depot, « Telemaintenance, Computer-assisted repair becoming reality for army », Circulaire, publié pour et par la communauté de maintenance. Joint depot maintenance vol 02, 1996.
- [TAL 99] Talbi E-G., Roux O., Fonlupt C., and Robillard D., Parallel ant colonies for combinatorial optimization problems. In Feitelson Rudolph (eds.), *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing: IPPS'95 Workshop*, Springer LNCS 959, Volume 11. 1999.
- [TAN 92] Tang J.C., Isaacs E.A – Why do users like video? Studies of multimedia-supported collaboration – Computer Supported Cooperative Work (CSCW), 1, 163-193. 1992.
- [TAO 03] B. Tao, H. Ding, Y.L. Xion. “IP sensor and its distributed networking application in e-maintenance,” In: *Proceedings of the 2003 IEEE international conference on systems, man and cybernetics*, vol. 4, Washington, DC, USA, 2003. p. 3858–63.
- [TAR 05] Tararykine V., « Modélisation des Flux d'Information dans un Système de E-maintenance », Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Novembre 2005.
- [TAR 97] Tarpin-Bernard F. Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : Approche AMF-C, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, juillet 1997, n° 97-14, 158 pages.
- [TOL 95] Tollmar K., Sundblad Y. (1995), «The design and building of the graphic user interface for the collaborative desktop», *Computer & Graphics* n°2, vol 19, pp. 179-188.
- [UCA 05] Ucar M, Qiu RG. E-maintenance in support of E-automated manufacturing systems. *J Chin Inst Ind Eng* 2005;22(1):1-10.
- [VAN 00] Van Der Veer G., Van Welie M., « Task Based Groupware Design: Putting Theory into Practice », *Proceedings of (DIS2000) Designing Interactive Systems*, ACM Press, pp. 326-337, New York, 2000.
- [VAN 98] Van Dijkhuizen G. (1998). *Maintenance meets Production : On the Ups and Downs of a Repairable System*. Thèse de Doctorat, Proefschrift Universiteit Twente, Enschede.

- [VER 88] Verdol P., *Térotechnologie : interprétation économique d'un nouveau mode d'organisation intégrée de la disponibilité des équipements industriels*, thèse de doctorat soutenue à l'université Lumière Lyon II (France), 1988.
- [VIL 95] Villemur T., « Conception de services et de protocoles pour la gestion de groupes coopératifs », thèse de doctorat, Université de Toulouse III, 1995.
- [WAN 04] Wang J, Tse P, He LS, Yeung R. Remote sensing, diagnosis and collaborative maintenance with web-enabled virtual instruments and mini-servers. *Int J Adv Manuf Technol* 2004;24(9-10):764-72.
- [WAN 07] Wang. Y., Gräther. W., Prinz. W. "Suitable Notification Intensity: the Dynamic Awareness System"., *Proceedings of the GROUP'07 ACM conference*. November 4-7, 2007, Sanibel Island, Florida, USA. ACM-Press.
- [WEI 02] Weisband S. (2002), «Maintaining Awareness in Distributed Team Collaboration: Implication for Leadership and performance», In P. Hinds & S. Kiesler, *Distributed Work*, pp. 311-333. Cambridge, MA: MIT Press.
- [WII 91] Wiil U. K., « Using Events as Support for Data Sharing in Collaborative Work », *Proceedings of the International Workshop on CSCW*, Berlin, 1991.
- [YIM 03] Yimam-Seid D., Kobsa A., « Expert finding systems for organizations: Problem and domain analysis and the DEMOIR approach », *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, volume 13, n° 1, pp.1-24, 2003.
- [YU 03] R. Yu, B Iung, and H. Panetto, "A multi-agents based Emaintenance system with case-based reasoning decision support," *Eng Appl Art Intell* 2003;16:321-33.
- [ZAC 03] Zacklad M., « Communities of Action: a Cognitive and Social Approach to the Design of CSCW Systems », *Proceedings of International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work, GROUP'2003*, ACM Press, pp. 190-197, Sanibel Island, Florida, USA, 2003.
- [ZAR 98] Zarifian P., *Travail et communication*, Paris : Presses Universitaires de France, 1998.
- [ZEM 03] Zemouri, M. R., *Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à la e-maintenance*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2003.

- [ZID 02] Zidani, A., « CHELIA : Un environnement coopératif pour l'apprentissage à distance sur Internet », Thèse de doctorat, Université de Batna, 2002.
- [ZID 00] Zidani, A., Boufaïda, M., Djoudi, M., « JamEdit un outil interactif et cooperative pour l'édition de documents ». *Technique et Science Informatiques (TSI)*, vol 19, n° 7, pp 919-941, Septembre 2000.

## **Annexes**

### **Annexe 1. Nos Publications**

#### **1. Revues Internationales**

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, M. BOUSSEDJRA « A New Collaborative System for Industrial Tele-maintenance », International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S.), Vol. 3, n. 5, September 2008.

#### **2. Conférences Internationale**

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, M. BOUSSEDJRA, A. Taleb-Ahmed « Evolution of the E-Maintenance towards a new CSCW-Based approach », IEEE Conference ICIT 2009, Victoria, Australia, Février 2009.

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, « Coordination et conscience collective au sein d'un groupware de télémaintenance industrielle », International Conference on Systems and Processing Information (ICSPI'09), Guelma, Algérie, Mai 2009.

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, S. DEY, Z. TEJANI «Algorithme d'arrête gauche adapté pour l'ordonnancement des tâches de maintenance dans un contexte de maintenance distribuée », CIP2007, Sétif, Novembre 2007.

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, M. BOUSSEDJRA, L. BOUZGOU, D. GHELLAB « Maintenance industrielle coopérative assistée par les TIC : Gestion de l'information », STMM'07, Bordj El-Bahri (Alger), Algérie, Mai 2007.

#### **3. Conférences Nationale**

D. HEDJAZI, A. ZIDANI « Conception d'un système coopératif pour le support de la télémaintenance industrielle », MSISP'1 2010, Skikda, Algérie, Octobre 2010.

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, M. BOUSSEDJRA « Proposition d'un scénario pour la télémaintenance industrielle coopérative », SNIB2008, Biskra, Algérie, Mai 2008.

#### **4. Journées scientifiques**

D. HEDJAZI, A. ZIDANI, M. BOUSSEDJRA « Proposition d'un protocole de gestion d'un groupe d'experts pour la télémaintenance industrielle coopérative », JOSIM'07, Oran, Algérie, Mars 2007.

## Annexe 2. Parties du code source du CSITM

### 1. Partie du code source du module *CVote.java*

```
import java.util.zip.*;
import java.io.*;
class CVote implements Serializable
{
//attribus
    private String Question_Vote;
    private int Temp_Vote;
    private int nombre_Reponse=0;
    private String [] Reponse_Vote = new String[5];
//Méthodes
public CVote (String question_vote, int temp_vote)
{
    this.Question_Vote =question_vote;
    this.Temp_Vote =temp_vote;
}
//-----
public void setReponse_Vote(String reponse_vote)
{
    this.Reponse_Vote [nombre_Reponse]= reponse_vote;
    this.nombre_Reponse+=1;
}
//-----
public String getQuestion_Vote()
{
    return Question_Vote;
}
//-----
public int getTemp_Vote()
{
    return Temp_Vote;
}
//-----
public int getnombre_Reponse()
{
    return nombre_Reponse;
}
//-----
public String getReponse_Vote(int numeroReponse)
{
    return Reponse_Vote[numeroReponse];
}
}
```