Contribution à un cadre de spécification et conception d'IHM de supervision à base de services web dans les systèmes industriels complexes

Djilali Idoughi

▶ **To cite this version:**

Djilali Idoughi. Contribution à un cadre de spécification et conception d'IHM de supervision à base de services web dans les systèmes industriels complexes : Application à une raffinerie de sucre. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis; Université Abderrahmane Mira, 2008. Français. NNT : 2008VALE0025 . tel-03010598

HAL Id: tel-03010598
https://uphf.hal.science/tel-03010598

Submitted on 17 Nov 2020

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

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

2008 VALE 0025

N° d'ordre 08/29

THÈSE

Présentée pour obtenir le grade de

Docteur de l'université A. Mira
(Béjaïa, Algérie)

Spécialité : Automatique et Traitement du Signal
Option : Systèmes

Docteur de l'université de Valenciennes
et du Hainaut-Cambrésis, France

Spécialité : Automatique et Informatique des Systèmes Industriels et Humains
Mention : Informatique

Par

Djilali IDOUGHI

Contribution à un cadre de spécification et conception d'IHM de supervision à base de services web dans les systèmes industriels complexes

Application à une raffinerie de sucre

Soutenue le 20 septembre 2008 devant le jury composé de :

Nadjib BADACHE	*Professeur, Cerist, Alger, Algérie*	*Rapporteur et président*
Mohamed AHMED NACER	*Professeur, USTHB, Alger, Algérie*	*Rapporteur*
Bertrand DAVID	*Professeur à l'École Centrale de Lyon, France*	*Rapporteur*
Yamine AIT-AMEUR	*Professeur à l'Université de Poitiers, France*	*Rapporteur*
Christophe KOLSKI	*Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France*	*Directeur*
Moussa KERKAR	*Professeur à l'Université de Béjaïa, Algérie*	*Co-Directeur*

Résumé

Ce mémoire contribue au domaine de l'interaction homme-machine (IHM), en proposant un cadre méthodologique global en vue de la spécification de systèmes interactifs de supervision avancée, pouvant aller jusqu'à la e-supervision. La supervision est vue au sens large en étudiant les besoins des différents acteurs d'une organisation complexe, vis-à-vis de l'exploitation de nouvelles technologies. Ce cadre s'appuie sur un ensemble de méthodes et modèles issus du GL et de l'IHM d'une part, des technologies du web et de la gestion des processus métier d'autre part. Pour ce qui est des technologies du web, l'accent est mis sur les services web et l'architecture orientée services. Dans ce cadre, nous mettons en avant les différentes étapes du processus complet tout en focalisant sur les premières étapes allant jusqu'à la spécification du système interactif, et en tenant compte des spécificités et de l'apport potentiel des services web.

Le cadre proposé a été appliqué en vue de démontrer ou valider les principes fondateurs sur une étude de cas complexe représentative, relative à la supervision avancée d'un procédé industriel d'une raffinerie de sucre d'un groupe agro-alimentaire situé en Algérie.

Les perspectives de recherche visent notamment l'amélioration et l'extensibilité de l'approche proposée. Il s'avère que différents défis et nouvelles problématiques s'offrent aux équipes projet concernant la conception et l'évaluation des nouvelles IHM de supervision dite avancée.

Mots clés : Interaction Homme-Machine, supervision industrielle, e-supervision, conception, spécification, technologies du web, services web, architecture orientée services, modèles de développement de logiciels, processus métier, processus unifié, méthodes agiles.

Abstract

This thesis presents a contribution to the human-computer interaction (HCI) field, which consists of a proposal of a global framework towards the specification of advanced supervisory interactive systems. The supervision is taken in a broader meaning dealing with different needs of the various human actors within the complex organization faced with the new technologies. This framework is based on models and methods issued from software engineering and HCI and on web technologies and business processes as well. From web technologies point of view, emphasis is made on web services and service oriented architecture. In this framework, we highlight the different phases of a complete design process where focusing mainly on the first steps towards the interactive system specification taking into account the specificities and potential benefits of the web services.

The proposed framework has been applied in order to demonstrate or validate the founder principles on a representative complex case study relative to the advanced supervision of the sugar refinery industrial process of an agro-alimentary industrial group based in Algeria.

The research perspectives aim in particular to the enhancement and extensibility of the framework. It appeared that different challenges and new design issues are offered to project team members regarding the design and evaluation of advanced supervisory HMI.

Keywords: Human-Computer Interaction, industrial supervision, e-supervision, design, specification, web technologies, web services, service oriented architecture, software development models, business process, unified process, agile methods.

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire rentre dans le cadre d'une thèse en co-tutelle entre l'Université A. Mira de Béjaïa, Algérie et l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France. Ce travail a été effectué en partie au Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique, industrielles et Humaines (LAMIH), U.M.R C.N.R.S 8530, à l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis dans le groupe de recherche « Raisonnement Automatique et Interaction Homme-Machine » (RAIHM) dirigé par le Professeur Christophe KOLSKI, à travers de nombreux stages scientifiques durant la période juin 2004 – juillet 2008.

Je tiens, tout d'abord, à exprimer ma profonde gratitude au Professeur Christophe KOLSKI pour avoir répondu favorablement à ma toute première demande de stage scientifique en juin 2004, m'avoir accueilli et intégré ensuite dans son équipe de recherche.
Qu'il trouve, ici, l'expression de ma profonde reconnaissance pour son aide, les judicieux conseils et les remarques pertinentes qu'il n'a cessé de me prodiguer durant toute la période de la réalisation de ce travail. Ce travail n'aurait jamais été mené à terme sans le dévouement et l'intérêt constant porté par Christophe KOLSKI à mes recherches
Merci à Christophe KOLSKI pour son amitié, sa gentillesse et sa modestie. Il a toujours su trouver les mots justes pour me redonner confiance et courage durant des moments difficiles.
Mes nombreux stages au LAMIH ont été pour moi une découverte de gens simples, sympas, accueillants et généreux. Toute l'équipe du LAMIH en général et du groupe de recherche RAIHM en particulier a été en quelque sorte une deuxième famille pendant les différents stages.

Merci aussi à Christophe KOLSKI de m'avoir fait connaître et présenté à sa petite famille (Jutta et Joanna que je remercie pour m'avoir accueilli dans leur charmante maison) ainsi que le groupe Tante Adèle et la Famille (TAF) que j'ai le plaisir d'apprécier.

Mes remerciements les plus vifs vont naturellement au Professeur Moussa KERKAR, de l'université de Béjaïa, mon co-directeur de thèse, qui, en plus de son soutien amical constant, n'a cessé de m'encourager et de me soutenir durant toute la durée de la thèse, m'a permis un jour de venir à mon secours et de me porter tout son soutien et sa disponibilité m'ayant permis à maintes reprises de la thèse de faire baisser toute la pression engendrée par mes nombreuses tâches pédagogiques et d'encadrement à l'université de Béjaia.

Je remercie également Yamine AIT-AMEUR (rapporteur, côté France), Professeur à l'Université de Poitiers, France, Bertrand DAVID (rapporteur, côté France), Professeur à l'École Centrale de Lyon, France, Nadjib BADACHE (rapporteur, côté Algérie), Professeur au Centre de Recherche sur l'Information Scientifique, Alger, Algérie, Mohamed AHMED NACER (Professeur à l'Université des Sciences et de Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, Algérie), pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer au jury de ma thèse et d'examiner ce travail.

Enfin, je ne saurais oublier tous ceux qui me sont très chers, à qui je dédie particulièrement ce travail et sans qui rien n'aurait été possible. Je rends hommage particulièrement à :
- ma femme Sadika, mes deux enfants, Schehinez et Yani pour leur patience infinie, leur tolérance et leurs encouragements et pour m'avoir supporté pendant ces dernières années.
- à mes chers parents,
- à mes frères et sœurs
- à tous ceux qui m'ont encouragé un jour de près ou de loin.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : ÉTAT DE L'ART ET NOUVELLES MOTIVATIONS EN SUPERVISION INDUSTRIELLE

I. PRÉSENTATION - DÉFINITION DU CONTEXTE ET DE L'OBJECTIF DE LA SUPERVISION .. 6

II. APPROCHES TRADITIONNELLES OU CLASSIQUES DE CONDUITE DE LA SUPERVISION.. 7
II.1. Le contexte de la supervision des systèmes industriels complexes 7
II.2. Modes d'Interaction entre l'opérateur et le procédé 9
II.3. Interface Homme machine et supervision 10
II.4. Principales fonctionnalités d'une application de supervision 12
II.5. Les tâches opérateurs en salle de contrôle 13
II.6. Les supports d'information en salle de contrôle 14
II.7. L'opérateur humain et le travail coopératif dans le processus de supervision 16
II.8. Limites et lacunes des approches classiques de supervision et recommandations 18

III. APPROCHES NOUVELLES DE CONDUITE DE LA SUPERVISION 20
III.1. Mobilité – coopération – communication et besoins en information temps réel 21
III.2. Cas d'utilisation potentiels des outils Web et nouveaux scénarios de supervision 23
III.3. Architectures techniques de systèmes de supervision 24
III.4. Caractérisation d'un système de supervision basé sur le web ou e-supervision 26
III.5. Évolution des systèmes de supervision dans le cadre du système d'information 27
III.6. Vers de nouvelles fonctionnalités de supervision 30

IV. NOUVELLES PROBLÉMATIQUES RELATIVES AUX IHM DE SUPERVISION 30
IV.1. Caractéristiques réseaux dans la conception d'IHM de supervision basée sur le Web 30
IV.2. Gestion des utilisateurs, authentification et sécurité 31
IV.3. Sensibilité au contexte et adaptation de l'IHM de supervision 31
IV.4. Illustration à l'aide d'un scénario global 32

V. CONCLUSION 33

CHAPITRE II : ORIENTATION SERVICE ET ARCHITECTURE ORIENTÉE SERVICES (SOA)

I. INTRODUCTION 36

II. ÉLÉMENTS ET CONCEPTS CLEF DE SOA 37
II.1. Le concept de service 37
II.2. Caractéristiques générales des services 37

III. LES SERVICES WEB 42
III.1. Applications composites 44
III.2. Les technologies de la couche interface utilisateur (IHM) 46

IV. ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES LIÉS À SOA 47

V. CONCLUSION 50

CHAPITRE III : PISTES MÉTHODOLOGIQUES EN VUE DE NOUVELLES APPROCHES DE CONCEPTION D'IHM DE SUPERVISION AVANCÉE

I. INTRODUCTION 51

II. APPROCHES DE DÉVELOPPEMENT 51
II.1. Approches séquentielles ou cascade 52
II.2. Approches itératives et incrémentale 53

III. PRÉSENTATION ET ÉTUDE CRITIQUE DES PRINCIPAUX MODÈLES ET MÉTHODES DE DÉVELOPPEMENT ISSUS DU GÉNIE LOGICIEL 54
III.1. Revue critique des principaux modèles de développement issus du GL 54
III.2. Revue critique des principales classes de méthodes d'analyse et de conception issues du GL 57
III.3. Synthèses et conclusions sur les modèles et méthodes classiques de développement 60

IV. PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT ISSUS DE LA COMMUNAUTÉ OBJET ET NOUVELLES TECHNOLOGIES 61
IV.1. Le processus unifié – UP et ses variantes 61
IV.2. Les méthodes agiles 64
IV.3. Synthèse sur les méthodologies objet et nouvelles technologies 67

V. MODÈLES DE DÉVELOPPEMENT ENRICHIS SOUS L'ANGLE DES INTERACTIONS HOMME MACHINE 68
V.1. Principaux modèles de développement enrichis sous l'angle de l'IHM 68
V.2. Étapes essentielles issues des modèles enrichis 72
V.3. Synthèse et Conclusions sur les modèles enrichis 80

VI. CONCLUSION 80

CHAPITRE IV : VERS UNE APPROCHE DE SPÉCIFICATION D'IHM DE SUPERVISION À BASE DE SERVICES WEB DANS LES SYSTÈMES INDUSTRIELS COMPLEXES

I. INTRODUCTION 83

II. DESCRIPTION GLOBALE DE L'APPROCHE PROPOSÉE 85
II.1. Positionnement de l'approche proposée dans le cadre du processus unifié 85
II.2. Présentation globale des trois phases constitutives de l'approche 86
II.3. Articulations entre les étapes de l'approche 89

III. DESCRIPTION DE LA PHASE 1 : ÉTUDE DE L'ORGANISATION GLOBALE DE SUPERVISION ET ANALYSE MÉTIER 90
III.1. Étape 1 : Analyse métier 90
III.2. Étape 2 : Analyse des tâches 94
III.3. Étape 3 : Analyse des utilisateurs 97
III.4. Conclusion sur la phase 1 98

IV. DESCRIPTION DE LA PHASE 2 : ANALYSE ET EXPRESSION DES BESOINS 98
IV.1. Étape 1 : Identification et catégorisation des services métier 99
IV.2. Étape 2 : Identification des besoins et des acteurs de l'organisation 102
IV.3. Conclusion sur la phase 2 112

V. DESCRIPTION DE LA PHASE 3 : SPÉCIFICATION ET CONCEPTION DE L'IHM DE SUPERVISION 113
V.1. Étape 1 : Spécification de l'interaction homme-machine 113

V.2. Étape 2 : Spécification de l'interface utilisateur 121
V.3. Étape 3 : Maquettage et prototypage de l'IHM 126
V.4. Conclusion sur la phase 3 130

VI. CONCLUSION 131

CHAPITRE V : APPLICATION ET MISE EN ŒUVRE DE L'APPROCHE PROPOSÉE SUR UNE ÉTUDE DE CAS RELATIVE À LA SUPERVISION D'UNE RAFFINERIE DE SUCRE

I. INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE 133

II. PHASE 1 : ÉTUDE DE L'ORGANISATION GLOBALE DE SUPERVISION ET ANALYSE MÉTIER 133
II.1. Analyse métier 134
II.2. Analyse des tâches 140
II.3. Analyse des utilisateurs 143
II.4. Conclusion sur la phase 1 146

III. PHASE 2 : ANALYSE ET EXPRESSION DES BESOINS 146
III.1. Identification et catégorisation des services métier 146
III.2. Identification des besoins et des acteurs de l'organisation 150
III.3. Conclusion sur la phase 2 157

IV. PHASE 3 : SPÉCIFICATION ET CONCEPTION DE L'IHM DE SUPERVISION 157
IV.1. Spécification de l'interaction homme-machine 157
IV.2. Spécification de l'interface utilisateur 162
IV.3. Maquettage et prototypage de l'IHM 164
IV.4. Conclusion sur la phase 3 170

V. CONCLUSION 170

CHAPITRE VI : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

I. CONCLUSION GÉNÉRALE 174

II. PERSPECTIVES DE RECHERCHE 177

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 181

ANNEXES

A : Web Service Definition Language (WSDL) 194
B : Description sommaire de la spécification BPEL 196
C : Description sommaire du processus métier de la raffinerie de sucre 201
D : Tableaux représentant les différents acteurs, leurs catégories, leurs besoins, leurs tâches, et leurs activités, au niveau de la raffinerie de sucre 205
E : Profils des acteurs humains de l'organisation étudiée 212
F : Différents besoins en informations échangées entre les différents opérateurs 214
G : Expression de besoins métier en termes de services dans l'organisation étudiée 216

Liste des figures

Figure N°	Intitulé	Page N°
	Chapitre 1	
1.1	Position hiérarchique (Place) de la supervision dans un système automatisé	8
1.2	Structure globale d'un système de supervision [Aubry, 92]	8
1.3	Classes de contrôle selon [Sheridan, 84]	9
1.4	Système de Supervision (adapté de [Sheridan, 85] et complété par [Millot, 96])	10
1.5	Position de l'interface homme-machine de supervision dans un système industriel complexe	11
1.6	Principales fonctionnalités d'une application classique de supervision industrielle	12
1.7	Deux exemples de vues graphiques utilisées en salle de contrôle (source : [Kolski, 97])	14
1.8	Exemples de supports d'information en salle de contrôle (inspiré de [Kolski, 97])	15
1.9	Le système homme-machine vu sous l'angle des coopérations homme-machine et homme-homme ([Kolski, 97] étendant [Sheridan, 85])	17
1.10	Potentiels périphériques d'accès en supervision	20
1.11	Architecture de supervision Client/Serveur classique	24
1.12	Architecture de supervision avec la technologie "Web Server"	24
1.13	Architecture de supervision avec la technologie "Terminal Server" (Client léger)	25
1.14	Schéma générique d'une application de supervision basée sur le web d'après [Le Parc, 04]	26
1.15	Principe d'urbanisation d'un système d'information	28
1.16	Exemple de scénario de la nouvelle supervision	32
	Chapitre 2	
2.1	Composant de service	37
2.2	Service et contrat de service	37
2.3	Types de consommateurs ou utilisateurs potentiels de services	37
2.4	Création d'un nouveau service par composition	39
2.5	Orchestration de services	39
2.6	Exemple de diagramme de séquence d'orchestration de service web	40
2.7	Exemple de chorégraphie de services	40
2.8	Exemple de diagramme de séquence de chorégraphie de service web	41
2.9	Modèle de référence des services web	42
2.10	Diagramme de référence des services web	42
2.11	Usages possibles de services web orientés utilisateurs	43
2.12	Applications composites dans architecture de référence SOA (source : [Fournier-Morel, 06]	44
2.13	Différentes topologies d'une application composite (source : [Fournier-Morel et al., 06])	45
2.14	Positionnement des services web orientés IHM	46
2.15	Application interactive orientée services vue sous l'angle du concepteur-développeur	47
	Chapitre 3	
3.1	Modèle cascade [Boehm, 81 ; 88]	54
3.2	Modèle en V	54
3.3	Modèle en W	55
3.4	Modèle par incréments [Boehm, 84]	56
3.5	Décomposition hiérarchique modulaire d'un système (La méthode SADT)	57
3.6	Différents modèles UML (source [Avignon *et al.*, 02])	58
3.7	Cycle de vie RAD	59
3.8	Processus unifié	62
3.9	2TUP : 2 Tracks Unified Process (source: [Roques et Vallée, 04.])	64
3.10	Cycle de vie d'un projet XP [http://www.extremeprogramming.org]	65
3.11	Cycle de vie d'un Sprint	66
3.12	Cycle de vie d'un projet DSDM	67
3.13	Modèle produser [james, 91]	68
3.14	Modèle Valentin et al. [Valentin et al, 93]	69
3.15	Modèle en étoile [Hix et Hartson, 93]	69
3.16	Modèle de Curtis et Hefley	70
3.17	Modèle en V adapté à la conception d'ihm [Coutaz, 95]	70
3.18	Modèle nabla ∇	71
3.19	Modèle en U	72

3.20	Intervenants potentiellement impliqués dans le système homme-machine	74
3.21	Trois cas-types d'analyse de tâches selon [Stammers et al., 90]	75
3.22	Théorie de l'action [Norman, 86]	78
3.23	Niveaux d'évaluation ergonomique	79
Chapitre 4		
4.1	Positionnement de notre contribution par rapport aux principes de base d'un processus unifié	84
4.2	Phase 1 de l'approche proposée	86
4.3	Phase 2 de l'approche proposée	87
4.4	Phase 3 de l'approche proposée	88
4.5	Proposition d'articulation entre étapes, importance des évaluations systématiques	89
4.6	Analyse et modélisation des processus métier en vue d'identifier des services web métier	90
4.7	Processus d'identification de services métier	90
4.8	Description globale d'un scénario d'un processus métier	91
4.9	Exemple de modèle de processus modélisé à l'aide de diagrammes d'activité UML	91
4.10	Exemple d'usage métier des services web	92
4.11	Vue métier de la supervision dans le cadre de SOA	93
4.12	Décomposition hiérarchique d'un système homme-machine global	95
4.13	Les différents modèles générés durant la phase 1	96
4.14	Vue générale de cas d'utilisation de l'organisation globale autour de la supervision	97
4.15	Approche globale de catégorisation de services	99
4.16	Modèle de cas d'utilisation de services métier	99
4.17	Différents services web d'un processus métier	100
4.18	Cas d'utilisation correspondant à un service métier	101
4.19	Processus d'expression des besoins à l'aide de services web	102
4.20	Expression des services web candidats à l'aide d'opérations de services web	103
4.21	IHM de supervision au cœur de l'organisation globale	104
4.22	Processus d'expression de la mobilité de supervision à l'aide de services web	105
4.23	IHM sensible au contexte [Dey, 00]	106
4.24	Approche globale d'identification de scénarios de mobilité	107
4.25	Expression des services web dédiés mobilité (d'après [Bonnet, 03])	108
4.26	Exemple d'extraits de définition XML de paramètres relatifs à la mobilité des acteurs humains	108
4.27	Approche globale d'identification de scénarios de travail coopératif	110
4.28	Processus d'expression des tâches coopératives de supervision à l'aide de services web	110
4.29	Expression des tâches coopératives de supervision à l'aide de services web	111
4.30	Diagramme de classes représentant les acteurs humains impliqués dans l'organisation complexe	112
4.31	Niveaux de spécification de l'ihm dans le contexte d'un processus métier de supervision	113
4.32	Schématisation d'une interaction d'un processus métier avec partenaires externes et utilisateurs	114
4.33	Définition du lien partenaire dans un processus métier	115
4.34	Représentation de variables d'échange de messages dans un processus métier de supervision	116
4.35	Exemple de définitions des variables d'interaction dans un processus métier	116
4.36	Représentation schématique pour recevoir une requête par un service web	117
4.37	Représentation schématique pour répondre à une requête ou sollicitation de services web	117
4.38	Représentation schématique pour invoquer une opération ou appeler un service web - 1-synchrone, 2-asynchrone	118
4.39	Représentation schématique de séquence d'activités ordonnées de services web	118
4.40	Représentation schématique de l'activité conditionnelle de services web	119
4.41	Représentation schématique de l'activité répétitive de services web	119
4.42	Représentation schématique de l'activité parallèle de services web	119
4.43	Représentation schématique d'une activité composée de services web	120
4.44	Représentation schématique d'un scénario de supervisons exprimé à l'aide des éléments de spécification à base de services web	121
4.45	Services web orientés présentation	122
4.46	Niveaux de spécification de services web orientés présentation	122
4.47	Extraction des éléments d'interface utilisateur à spécifier	123
4.48	Exemple de représentation schématique de services web orientés interface utilisateur	123
4.49	Spécification de l'interface utilisateur suivant le profil utilisateur, exemple avec un affichage composé de quatre zones, devant être accédées par 2 types (profils) d'utilisateurs	124

4.50	Diagramme de classe de spécification de l'interface utilisateur suivant le profil utilisateur	125
4.51	Spécification de services web orientés interface utilisateur	126
4.52	Exemple avec deux niveaux de maquettage de l'interface utilisateur	127
4.53	Exemple de maquette	128
4.54	Processus de maquettage/prototypage de l'interface utilisateur	130
Chapitre 5		
5.1	Contexte de l'étude	133
5.2	Processus avant raffinage du sucre	134
5.3	Vue globale d'implantation du site central de production	134
5.4	Vue globale du processus métier de l'organisation étudiée	135
5.5	Vue globale des sous processus de raffinage de sucre	135
5.6	Diagramme d'activités associé au scénario métier	137
5.7	Paquetage exprimant les domaines fonctionnels de l'organisation étudiée motivant l'usage métier des services web	137
5.8	Usage métier des services web relatif au processus métier *Livraison_commercialisation*	138
5.9	Illustration d'un cas d'utilisation métier à l'aide d'un digramme de séquence	138
5.10	Décomposition hiérarchique du système homme-machine global de l'organisation étudiée	139
5.11	Vue globale du sous-système de la section 2 (carbonatation)	140
5.12	Exemples de cas d'utilisation relatifs au sous-système de la section 2 (carbonatation)	141
5.13	Exemple de modèle de tâches CTT du sous-système de la section 2 (carbonatation)	142
5.14	Profils utilisateurs de supervision du process de raffinage du sucre – niveau opérationnel	**143**
5.15	Vue globale de la supervision existante	144
5.16	Focalisation sur l'unité de raffinage	144
5.17	Exemple de catégorisation de services métier de supervision	146
5.18	Exemples de catégorie de cas d'utilisation de services métier	147
5.19	Cas d'utilisation *Intervenir* correspondant à un service métier *Gestion de la maintenance*	148
5.20	Exemple détaillé de la catégorie de services métier *Gestion de la maintenance*	148
5.21	Cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques* correspondant à un service métier *Carbonatation*	150
5.22	Exemple de diagramme de séquence extrait du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*	150
5.23	Exemple de services web exprimant l'enchaînement 1 du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*	151
5.24	Exemple de services web exprimant l'enchaînement 2 du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*	152
5.25	Exemple de cartographie des services web relatifs aux catégories des services web métier	152
5.26	Ensemble de services web avec leurs opérations correspondantes	153
5.27	Exemple de l'expression d'une tâche coopérative de supervision à l'aide de services web	155
5.28	Schématisation des interactions des différents services web	156
5.29	Définition des liens partenaires dans le processus métier relatif au cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*	157
5.30	Exemple d'interaction entre services gestion des alarmes et services surveillance carbonatation	158
5.31	Exemple d'interaction entre services surveillance carbonatation et services intervention	158
5.32	Exemple d'interaction entre service participant humain et service participant automatique	159
5.33	Expression d'un scénario de supervisons à l'aide des activités des services web	160
5.34	Expression d'un scénario de supervisons à l'aide des activités des services web	161
5.35	Exemple de quelques constituants de type de message échangés	162
5.36	Exemple de spécification de l'interface utilisateur du service web *superviser_PH*	163
5.37	Vue globale du contexte d'exécution du scénario	165
5.38	Exemple de services relatifs au scénario d'illustration du maquettage	166
5.39	Illustration du scénario sous l'angle de l'IHM	166
5.40	Maquette d'authentification et accès opérateur expert distant aux services dédiés supervision	167
5.41	Maquette accès opérateur expert aux services dédiés section à superviser	168
5.42	Maquette accès opérateur expert aux services dédiés synoptiques à superviser	168
5.43	Maquette Accès opérateur au synoptique « Exoflac 313 » et collaboration avec certains opérateurs et compte-rendu au superviseur en chef	169
5.44	Prototype d'interface d'authentification et accès opérateur expert distant aux services dédiés supervision	170
5.45	Prototype d'interface d'accès opérateur expert aux services dédiés section à superviser	170
5.46	Prototype d'interface d'accès opérateur expert aux services dédiés synoptiques de la section	171

	carbonatation	
5.47	Prototype d'interface d'Accès opérateur au synoptique « Exoflac 313 » et collaboration avec certains opérateurs et compte-rendu au superviseur en chef	171
Annexes		
A.1.	Fichier WSDL de services web	191
A.2.	Structure globale de WSDL (source : [Dumas et fauvet, 06])	191
A.3.	Exemple de spécification WSDL de services web (source : [Fournier-morel, 06])	192
B.1	La pile des Spécifications Web Services (source : [Dumas et fauvet, 06])	193
B.2	Définition du lien partenaire dans un processus métier	193
B.3	Déclarations de variables d'un processus métier	193
B.4	Description sommaire de l'activité receive (recevoir requête)	194
B.5	Description sommaire de l'activité reply	194
B.6	Description sommaire de l'activité invoke	194
B.7	Description sommaire de l'activité assign	195
B.8	Description sommaire de l'activité sequence	195
B.9	Description sommaire de l'activité if-else et switch	195
B.10	Description sommaire de l'activité while	196
B.11	Description sommaire de l'activité flow	196
B.12	Description sommaire de l'activité scope	196
B.13	Description sommaire du constructeur <FaultHandlers>	197
B.14	Description sommaire du constructeur <eventHandlers>	197
B.15	Principaux éléments de spécification d'un processus métier	197
C.1.	Vue globale de la section 1	198
C.2.	Vue globale de la section 3	198
C.3.	Vue globale de la section 4	199
C.4.	Vue globale de la section 5	199
C.5.	Vue globale de la section 6	200
C.6.	Vue globale de la section 7	200
C.7.	Vue globale de la section 8	201
E.1.	Profils acteurs de supervision du process de raffinage du sucre – niveau opérationnel	209
E.2.	Profils acteurs de supervision du process de raffinage du sucre – niveau stratégique	209
E.3.	Localisation des acteurs de supervision du process de raffinage du sucre	210
F. 1.	Vue globale des échanges d'informations et interaction entre différents acteurs humains de l'organisation étudiée	212

Liste des tableaux

Tableau N°	Intitulé	Page N°
4.1	Exemple d'éléments d'interface avec leurs opérations	125
5.1	Tableau descriptif associé au scénario métier analyses avant raffinage	136
5.2	Catégories potentielles de services	147
5.3	Extrait du contexte d'utilisation des services web dédiés mobilité	154
5.4	Extrait de l'expression des tâches coopératives de supervision à l'aide de services web	155

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans de nombreux domaines industriels tels que la chimie, la sidérurgie, l'énergie, le secteur pétrolier ou les transports, l'informatisation et la modernisation des salles de supervision de systèmes complexes se sont effectuées de manière systématique, au gré des technologies, depuis trente à quarante ans, où on est passé d'un contrôle direct à des formes de plus en plus élaborées. Le contrôle ou la conduite directe des installations par l'opérateur se font via des réglages simples, avec prélèvement d'informations directement sur le produit ou le process, ou sur la machine ou des cadrans analogiques. Aussi, la conduite des différentes unités de l'installation par des automates se fait via des détecteurs, des boucles de rétroaction, des actionneurs où l'opérateur n'intervenant qu'après ce premier filtrage. Les automates sont eux-mêmes surveillés, actionnés et régulés par un ordinateur de conduite.

La conception des systèmes industriels complexes s'est faite ces vingt dernières années en considérant que le travail sur écran était totalement au centre des activités humaines dans la salle de contrôle. Pour les opérateurs humains, le travail est devenu de plus en plus hautement cognitif, relativement à des tâches éventuellement très complexes que les automatismes ne peuvent pas effectuer. Ainsi, l'automatisation des procédés industriels permet aux calculateurs d'avoir une autonomie complète pendant le fonctionnement normal, les opérateurs ayant à effectuer alors des tâches telles que surveiller sur les écrans de supervision l'évolution des variables (souvent des centaines, voire des milliers) issues des capteurs, vérifier le rendement, la qualité et la sécurité de la production. En situation de fonctionnement normal des installations, il y a augmentation de la surveillance, réduction des interventions de régulation du process, réduction des interventions directes sur le produit et les installations. En d'autres termes, l'automatisation accrue décharge l'opérateur des tâches de commande de bas niveau.

En cas de dysfonctionnement ou dans les situations d'urgence, ou d'indices indiquant une dérive anormale, l'opérateur supervise et coordonne un système de plus en plus vaste, complexe et de plus en plus intégré à travers plusieurs niveaux de filtrage. Dans ce contexte, l'opérateur est de moins en moins amené à intervenir directement sur le système. Souvent, c'est l'ordinateur qui le pilote. Par contre il se voit confié des tâches davantage cognitives dans lesquelles il doit prendre des décisions complexes quant aux actions à mener pour la bonne conduite des installations, en particulier, lors des dysfonctionnements ou modes dégradés de fonctionnement. Les opérateurs humains sont amenés à intervenir (de façon individuelle, ou collective selon l'ampleur du problème) pour corriger, compenser ou reprendre l'ensemble des défaillances sur la base de l'expérience passée, ou en étant éventuellement aidés par des systèmes d'assistance. Les raisons provoquant les incidents sont parfois inconnues, et dans la plupart des cas, le travail des opérateurs est réalisé sous contraintes temporelles générant du stress et des risques d'erreurs élevés.

Par ailleurs, l'évolution rapide des technologies industrielles, la complexité du matériel, le développement de l'automatisation des process, et l'introduction de l'informatique dans le domaine du contrôle du système industriel ont induit d'importants changements dans le comportement et les méthodes d'approche de l'opérateur humain vis-à-vis du système interactif lui permettant d'effectuer des tâches relatives à une application dynamique, en l'occurrence un procédé industriel. Confronté à des situations dynamiques et diverses, l'opérateur est contraint de réagir et d'interagir en conséquence, soit pour une tâche de maintenance corrective ou de planification. De plus, il existe des situations faisant appel au travail coopératif : l'opérateur est alors amené à interagir avec différents acteurs, le plus souvent internes au centre de production, appartenant éventuellement à différents services.

Ainsi, l'être humain se voit confier le rôle de superviseur observant bien plus qu'agissant selon les situations. Il a alors à sa disposition un certain nombre d'outils informatiques lui présentant graphiquement les informations nécessaires pour effectuer ses différentes tâches. Ces outils sont généralement couplés à différents types de modules lesquels décrivent et synthétisent l'état du système complexe et aident l'opérateur lors de ses activités de contrôle.

De façon plus globale, le système interactif mis à la disposition des différents acteurs (incluant les opérateurs de supervision) de l'organisation mise en place au sein de l'entreprise doit considérer les principales missions de la supervision, en l'occurrence la surveillance, la gestion des alarmes, l'analyse des données, l'amélioration de la maintenance, l'optimisation des procédés, la garantie de la qualité ou encore la gestion de la traçabilité.
Les systèmes de supervision industriels sont extrêmement exigeants en matière d'interfaces homme-machine à proposer aux différents intervenants. Les informations de supervision peuvent provenir de différentes sources et de différentes structures de l'entreprise dans un contexte dynamique et évolutif.

La tendance actuelle dans l'industrie est d'intégrer de tels systèmes de supervision que l'on qualifie de traditionnels, avec de nouvelles fonctions inhérentes au système d'information sous-jacent intégrant les personnes, le(s) process et les informations, lesquels peuvent être accédés désormais en dehors de la salle de contrôle grâce aux technologies du web. Grâce à l'évolution au niveau des nouvelles sciences et technologies de l'information et de la communication, différents supports d'information peuvent même être maintenant envisagés (PDA, Pocket PC, téléphones portables, etc.). Ceci a permis de mettre la supervision au cœur de l'entreprise où tous les acteurs de cette entreprise peuvent interagir avec tous les processus métiers et en apportant de nombreuses possibilités de visualisation ou de vues de l'entreprise selon les besoins et les objectifs de chaque acteur dans un environnement Web. Ces acteurs de l'entreprise peuvent être des opérateurs d'astreinte pouvant intervenir à distance, des ingénieurs commerciaux qui ont besoin de passer des commandes ou de connaître l'état des stocks. Ils peuvent aussi être des techniciens chargés de la maintenance d'une infrastructure ou d'une installation géographiquement distribuée. Par conséquent, la visualisation de l'information nécessite à la fois des adaptations liées à la diversité des systèmes portables mais également à la pertinence de l'information fournie sur de tels appareils. Face à cette situation, une adaptation des Interfaces Homme-Machine aux tâches à effectuer peut améliorer la performance globale du Système

Homme-Machine. Une difficulté consiste à offrir rapidement et efficacement aux différents acteurs nomades ou non un accès adéquat et adapté pour leurs diverses opérations en lien plus ou moins direct avec la supervision.
Les Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) devraient induire à terme des changements profonds, notamment en termes de modification de l'espace de travail, des postes et de leur localisation, sur la tâche et l'activité des opérateurs. L'intervention des opérateurs se modifie, des outils de supervision sont mis à leur disposition, des vues synoptiques sont souvent calquées sur la structure physique des installations. Ainsi, l'espace de travail tend à se transformer en un espace de production où les opérateurs, autrefois partagés entre la salle de contrôle et le site, occupent tous aujourd'hui des postes de supervision en salle de contrôle, hormis certains rondiers devenus des opérateurs mobiles. Éloignant les opérateurs du produit, de la machine et des installations, le nouvel espace les éloigne aussi les uns des autres. En même temps les STIC tendent à compenser cet isolement à l'aide de moyens de communication et de travail collaboratif potentiellement appropriés.

La supervision conventionnelle ou traditionnelle est différente de celle basée sur les technologies de l'information, notamment celles du web. En ce sens, les besoins et les spécifications de l'opérateur dans le contexte d'une supervision basée sur le web sont ou peuvent être exprimées différemment. Jusqu'à présent, les recherches faites sur l'IHM en général et la supervision en particulier, ont proposé des méthodologies de conception d'IHM d'une manière générale où les spécifications de l'opérateur vis-à-vis de l'IHM de supervision ne sont exprimées que par rapport à un contexte centralisé de la supervision : c'est-à-dire un opérateur ou plusieurs devant une ou plusieurs consoles dans une salle de contrôle supervisant un process via une application interactive de supervision conçue pour un environnement fixé et difficilement modifiable ou intégrable. Néanmoins, il existe quelques applications commerciales de supervision possédant des fonctionnalités s'appuyant sur les technologies du web. Cependant, peu de travaux de recherche sur des méthodologies de conception d'IHM de supervision basée sur le web, sont disponibles dans la littérature jusqu'à présent vu le peu de retour d'expériences sur l'usage récent des technologies du web dans la supervision de process.

La conception et l'évaluation d'IHM font l'objet depuis de nombreuses années de plusieurs courants de recherche, qu'ils soient issus des sciences de l'ingénierie ou des sciences cognitives. Il existe de nombreux domaines où les interactions homme-machine jouent un rôle essentiel entraînant des problématiques sensiblement différentes. A titre d'exemple, peuvent être cités, la bureautique, l'enseignement assisté par ordinateur, les systèmes d'information, les applications multimédia, le web ou encore le contrôle de systèmes industriels complexes. Pour notre part, nous nous situons dans le dernier domaine cité.

Quel que soit le domaine d'application, la méthodologie de conception de l'IHM doit être centrée utilisateur. Pour ce qui est du domaine qui nous intéresse, le concepteur d'IHM de supervision doit s'appuyer sur une méthodologie de conception dont le rôle central est l'opérateur humain susceptible de se trouver dans de contextes de supervision basée sur les technologies du web.

Le domaine de l'IHM offre des outils, des techniques, des méthodes et des modèles visant le meilleur usage possible des systèmes interactifs ; il se base sur les résultats issus respectivement, de l'ingénierie pour les aspects techniques à savoir les méthodes d'analyse et de conception, techniques et systèmes d'acquisition, de représentation et exploitation des connaissances et des outils graphiques, et de l'ergonomie pour les facteurs humains, à savoir les méthodes d'évaluation, d'analyse des tâches et des activités humaines, des connaissances de l'homme au travail. Notre objectif est de tirer partie de ce domaine.

Ce travail de recherche s'inscrit dans le prolongement des efforts faits par la communauté scientifique pour arriver à une méthodologie de conception d'IHM de supervision basée sur le web. Notre approche tient ses sources et ses motivations de différentes natures notamment : des contraintes techniques, défis et challenges de la nouvelle supervision, exigences et évolutions des acteurs intégrés dans l'organisation de supervision en sens large. Comme elle s'inscrit aussi dans une perspective d'une architecture orientée services où l'infrastructure de toute la chaîne automatique de production de la nouvelle supervision repose sur l'infrastructure des technologies de l'information et de la communication. Il s'agit donc d'identifier comment cette technologie fournit ou produit de la plus value à l'organisation sous-jacente.

Nous pensons que les technologies du Web notamment celles basées sur les services Web et le modèle d'architecture orienté services peuvent être une nouvelle approche de création de nouveaux modèles d'interaction pour utilisateurs nomades ou mobiles d'une part, et que certains concepts comme l'adaptation des IHM ou la sensibilité aux contextes d'utilisation, peuvent aussi être exprimées (spécifiées) par les services Web et leurs technologies sous-jacentes d'autre part.

Notre travail consiste particulièrement en la recherche et l'exploitation de méthodes et modèles issus du génie logiciel d'une part, et de l'IHM d'autre part afin de mettre en place une démarche contribuant à la conception d'interfaces dites avancées avec introduction ou intégration des technologies dérivées d'Internet ou d'intranet.

Dans le chapitre 1 du mémoire, nous présentons un état de l'art et les nouvelles motivations en supervision industrielle ; on y rappelle les missions de base de la supervision traditionnelle ou classique et on explique qu'il est possible d'aller vers une supervision avancée et plus globale grâce aux sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC).

Le chapitre 2 traite des nouvelles technologies de l'information et de la communication et expose les motivations et fondements théoriques de l'approche orientée services à travers les concepts clés des services web permettant d'envisager la conception de l'IHM de supervision.

Dans le chapitre 3, nous dressons un certain nombre de pistes méthodologiques en vue de nouvelles approches de supervision. La première partie du chapitre présente les apports du génie logiciel. Elle introduit et présente une description sommaire des principaux modèles de conception issus du génie logiciel tels que les modèles : en cascade, en V, en spirale et par incréments, etc. La deuxième partie dresse les apports de l'IHM : analyse et modélisation de systèmes techniques, étude et description des méthodes orientées sur le fonctionnement normal

et anormal de systèmes techniques, étude et présentation des différents modes de représentation de l'information dans un système industriel, étude et présentation des méthodes d'évaluation d'interface et leur exploitation dans le domaine du contrôle industriel, étude des facteurs humains et de leur modélisation, apport de nouveaux moyens multimédia dans le contrôle de systèmes industriels.

Le chapitre 4 présente notre contribution sous la forme d'un cadre méthodologique global en vue de la spécification de l'IHM de supervision en tenant compte des pistes de conception et méthodologiques dégagées lors des chapitres 2 et 3. Ce cadre vise à intégrer un développement d'applications interactives orienté services sous les angles du GL, de l'IHM, tout en ayant une vision métier. En d'autres termes, il prend la forme d'une démarche s'appuyant sur des méthodes, et des modèles issus du GL d'une part, des technologies et ingénierie du web et de la gestion des processus métiers d'autre part. Dans ce cadre, nous mettons en avant les différentes étapes du processus complet tout en focalisant sur les premières étapes allant jusqu'à la spécification de l'IHM et tenant compte des spécificités des services web.

Le chapitre 5 montre la faisabilité d'une telle approche sur l'IHM de supervision que nous validerons sur une étude de cas réelle de supervision en entreprise de production de sucre. A travers ce travail, nous soulignons l'apport de ces technologies dans le processus de supervision d'un procédé industriel particulier et nous illustrerons l'approche à l'aide d'un scénario typique de supervision accompagné par un certain nombre de maquettes d'IHM.

Enfin, dans le chapitre 6, nous présenterons quelques points et principes forts mis en avant dans l'approche proposée, tout en concluant et dressant plusieurs perspectives de recherche en termes d'amélioration ou d'extensibilité de la démarche.

CHAPITRE I : ÉTAT DE L'ART ET NOUVELLES MOTIVATIONS EN SUPERVISION INDUSTRIELLE

I. PRÉSENTATION - DÉFINITION DU CONTEXTE ET DE L'OBJECTIF DE LA SUPERVISION.. 6

II. APPROCHES TRADITIONNELLES OU CLASSIQUES DE CONDUITE DE LA SUPERVISION.. 7

II.1. Le contexte de la supervision des systèmes industriels complexes..... 7
II.2. Modes d'Interaction entre l'opérateur et le procédé..... 9
II.3. Interface Homme machine et supervision..... 10
II.4. Principales fonctionnalités d'une application de supervision..... 12
II.5. Les tâches opérateurs en salle de contrôle..... 13
II.6. Les supports d'information en salle de contrôle..... 14
II.7. L'opérateur humain et le travail coopératif dans le processus de supervision..... 16
II.8. Limites et lacunes des approches classiques de supervision et recommandations..... 18

III. APPROCHES NOUVELLES DE CONDUITE DE LA SUPERVISION..... 20

III.1. Mobilité – coopération – communication et besoins en information temps réel..... 21
III.2. Cas d'utilisation potentiels des outils Web et nouveaux scénarios de supervision..... 23
III.3. Architectures techniques de systèmes de supervision..... 24
III.4. Caractérisation d'un système de supervision basé sur le web ou e-supervision..... 26
III.5. Évolution des systèmes de supervision dans le cadre du système d'information..... 27
III.6. Vers de nouvelles fonctionnalités de supervision..... 30

IV. NOUVELLES PROBLÉMATIQUES RELATIVES AUX IHM DE SUPERVISION..... 30

IV.1. Caractéristiques réseaux dans la conception d'IHM de supervision basée sur le Web..... 30
IV.2. Gestion des utilisateurs, authentification et sécurité..... 31
IV.3. Sensibilité au contexte et adaptation de l'IHM de supervision..... 31
IV.4. Illustration à l'aide d'un scénario global..... 32

V. CONCLUSION..... 33

CHAPITRE I : ÉTAT DE L'ART ET NOUVELLES MOTIVATIONS EN SUPERVISION INDUSTRIELLE

I. Présentation - définition du contexte et de l'objectif de la supervision

La supervision est l'ensemble des outils et méthodes qui permettent de conduire des installations industrielles tant en fonctionnement normal qu'en présence de défaillances. Elle est l'outil de référence de l'opérateur de conduite mais peut également interagir directement avec le système de contrôle–commande. Comme elle consiste à surveiller l'état de fonctionnement d'un procédé pour l'amener et le maintenir à son point de fonctionnement optimal tout en assurant des fonctions de collecte et de visualisation d'informations, de surveillance, de diagnostic et d'aide à la prise de décision pour l'accommodation, la reconfiguration ou la maintenance.

Par ailleurs, la supervision industrielle est utilisée dans le cadre de nombreux procédés, soit pour la surveillance d'équipements ou de locaux, on parlera alors de GTC (gestion technique centralisée), soit comme SNCC (systèmes numériques de contrôle-commande), principalement pour des procédés de type continu, ou encore SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ; enfin elle est utilisée pour des systèmes manufacturiers ou de production, faisant office de cadre de ce mémoire.
Les systèmes de supervision peuvent être vus comme le résultat d'une démarche d'automatisation des systèmes de production dans le but de satisfaire aux objectifs généraux de la production : productivité, qualité, sécurité.

L'objectif principal de la supervision est de pouvoir disposer d'une visualisation en temps réel de l'état et de l'évolution d'une installation automatisée et ceci pour permettre à l'opérateur humain de prendre dans les meilleures conditions qui soient, les décisions permettant d'atteindre les objectifs de production. La supervision est donc une fonction de centralisation d'information, de prétraitement de ces informations pour le niveau de gestion et leur visualisation.
En raison de l'évolution rapide des technologies industrielles, du degré de complexité croissante de certains matériels, du développement de l'automatisation et de l'introduction de l'informatique dans les ateliers, la supervision des systèmes complexes notamment de production a engendré des changements importants des méthodes de travail avec des tâches humaines de moins en moins manuelles pour plus d'observation et de surveillance. En conséquence, l'opérateur se trouve de plus en plus éloigné de la machine pour se retrouver en salle de contrôle pour gérer la conduite et la surveillance de son installation via un système de supervision.

Grâce aux sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC), la supervision bénéficie progressivement d'une avancée technologique considérable permettant de passer d'une supervision traditionnelle ou classique à une supervision dite avancée comme nous le verrons en section 2 de ce chapitre.

En effet, à ses débuts, on retrouvait en salle de contrôle généralement un grand tableau mural proposant aux opérateurs une vision globale du processus industriel associés à des pupitres et

tableaux de contrôle et de commande. Rapidement, avec l'essor de l'informatique, les voyants, panneaux et tableaux ont été remplacés par des écrans et des claviers. Le but restait le même : contrôler et commander le processus industriel. Maintenant, la supervision est devenue un maillon de l'information totale et intégrée de l'entreprise. Les nouvelles tendances dans ce domaine font état d'une future intégration de la gestion de production dans le contrôle-commande, d'un regroupement des données de l'atelier avec celles des autres services, départements et de management. Ainsi, chaque acteur ou membre de l'entreprise ou de l'organisation complexe, quel que soit son niveau hiérarchique et son lieu de travail (salle de contrôle, atelier, etc.) pourrait être en mesure de bénéficier d'un accès direct et en temps réel à toutes les données et informations nécessaires à son travail. Cette thèse se situe dans cette perspective.

Ce chapitre est composé de trois parties : la première traite des approches traditionnelles ou classiques de supervision et présente des aspects importants relatifs à la conduite de la supervision en salle de contrôle et inhérents au travail des opérateurs humains. La seconde aborde et décrit l'apport potentiel des sciences et technologies de l'information et de la communication en supervision industrielle tant au niveau fonctionnel et technique qu'organisationnel, laissant envisager ainsi de nouvelles fonctionnalités qui étaient impossibles ou inexistantes auparavant. La troisième partie met en évidence certaines nouvelles problématiques relatives aux IHM de supervision tant au niveau ergonomique, conceptuel, technique et organisationnel induites par ces technologies et soulevées par ces nouvelles fonctionnalités potentielles. Enfin, nous terminons ce chapitre en présentant un scénario typique tirant profit d'avancées en supervision ; celui-ci nous servira de fil rouge pour la suite de notre mémoire.

II. Approches traditionnelles ou classiques de conduite de la supervision

La présente section dresse et décrit un ensemble d'éléments caractéristiques de la supervision classique.

II.1. Le contexte de la supervision des systèmes industriels complexes

[Gaillerdreau, 96] définit un système automatisé de production comme étant l'ensemble des moyens matériels et logiciels nécessaires à la conduite au sens large de l'installation qu'un automaticien décompose ainsi :

- La partie opérative, appelée également système de production, correspond à la structure physique qui accomplit le travail. Cette structure comprend le matériel de production, les capteurs qui permettent d'observer le système, les actionneurs qui commandent le matériel et les pré-actionneurs qui fournissent l'énergie nécessaire aux actionneurs.
- La partie commande assure l'acquisition des informations fournies par les capteurs et élabore les traitements pour la commande des actionneurs.
- La partie supervision assure l'exploitation des installations automatisées.

La figure 1.1 situe la supervision par rapport aux éléments principaux de l'automatisation d'un système de production. Les unités de commande désignent des appareils tels que les régulateurs, les commandes numériques, les automates programmables industriels ou les robots.

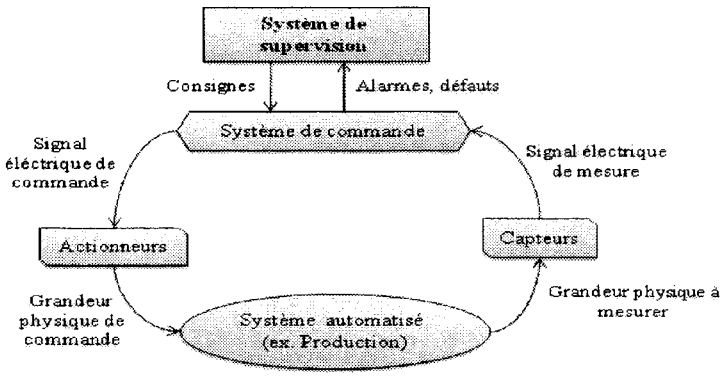

Figure 1.1: Position hiérarchique (Place) de la supervision dans un système automatisé

La visualisation des informations liées aux actionneurs et capteurs permet de connaître dans la mesure du possible en temps réel l'état de fonctionnement du procédé. Les défauts peuvent être représentés sous formes graphiques et textuelles pour une meilleure compréhension. Tous les paramètres analogiques (les températures, les pressions, etc.) peuvent être visualisés sous formes de courbes par exemple. Enfin, toutes les données sont enregistrables périodiquement dans une base de données pour permettre leur consultation ultérieure sous formes d'historiques par exemple, figure 1.2.

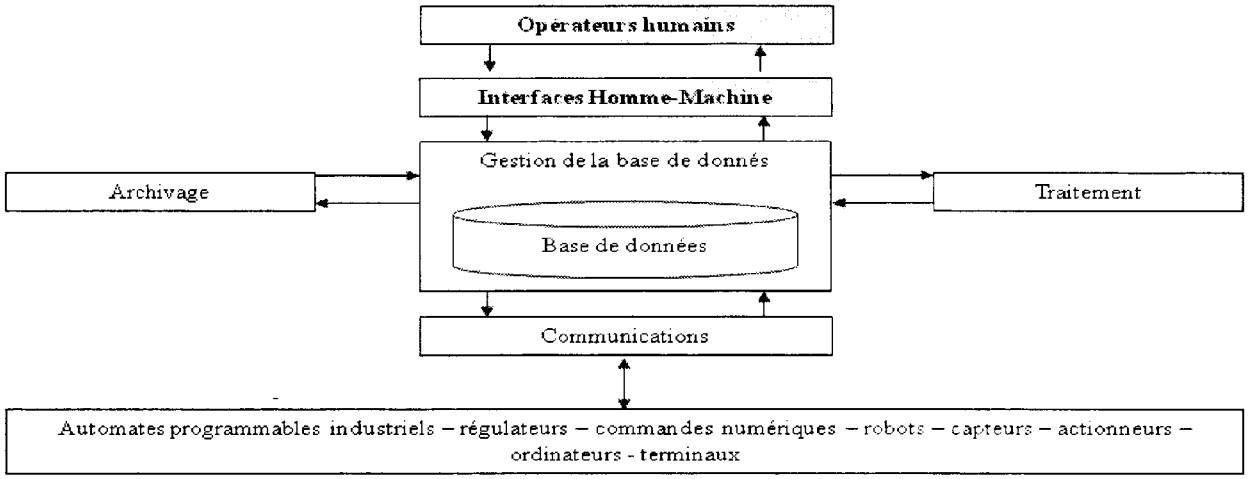

Figure 1.2. Structure globale d'un système de supervision [Aubry, 92]

La base de données représentant l'élément central de tout système de supervision contient des informations venant du process et relatives à divers automatismes. L'ensemble de ces données peuvent être exploitées par plusieurs opérateurs humains, ceux-ci pouvant nécessiter des vues différentes de ces données. Les traitements effectués sur ces données sont destinés à mettre en forme les informations pour leur présentation à l'opérateur humain sous forme graphique par exemple. Une autre importante catégorie de fonctions d'un système de supervision est le traitement des alarmes et défauts et leur archivage (informations relatives aux alarmes et aux évènements comme le journal de bord, la consignation d'états, la datation d'évènements qui consiste à établir une chronologie des évènements issus du processus et du système de contrôle de commande).

Les systèmes industriels complexes peuvent être considérés selon les deux points de vue suivants :

- celui de l'automaticien (« classique »), qui caractérise et classe un système industriel suivant la nature du procédé induit et sa vitesse d'évolution ; le comportement des variables d'état en fonction du temps [Lambert, 99]. Ceci a donné la classification de systèmes industriels suivante : systèmes continus, semi-continus (appelés aussi systèmes batch) et les systèmes manufacturiers ;
- et celui de l'automaticien « humain » où il s'agit de considérer un système homme-machine dans lequel l'opérateur humain est partie prenante [Millot, 88], occupant une place capitale et irremplaçable dans la boucle de conduite malgré le degré d'automatisation et l'informatisation accrue des systèmes comme nous l'expliquons en partie ci-après.

II.2. Modes d'interaction entre l'opérateur et le procédé

[Sheridan, 84] a proposé une classification des différents modes de contrôle relatifs à la nature des tâches affectées à l'homme et celles affectées à la machine dans un système industriel fortement automatisé. Cette classification a mis en avant cinq modes d'interaction possibles entre l'opérateur et le procédé (figure 1.3).

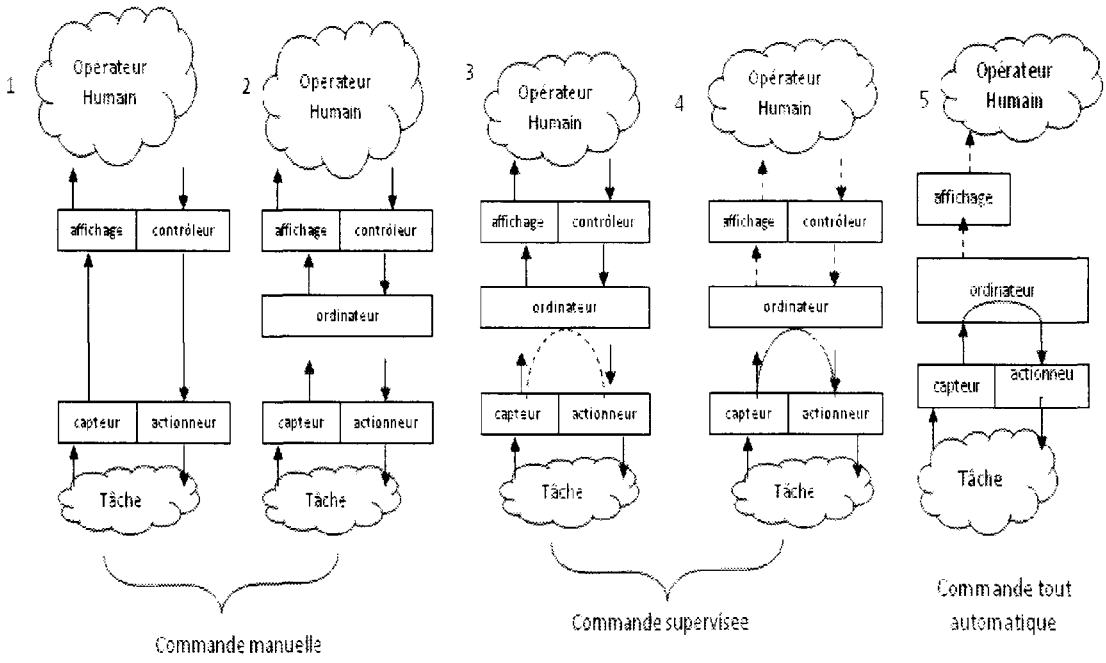

Figure 1.3. Classes de contrôle selon [Sheridan, 84]

- *La commande manuelle de niveau 1* : il n'y a aucun système de commande automatique entre les capteurs et actionneurs du procédé et l'interface Homme-Machine de l'opérateur ; le degré d'interaction entre l'homme et le procédé est le plus élevé (structure 1).
- *La commande manuelle de niveau 2* : il y a présence d'un système de traitement entre le niveau procédé (incluant les capteurs et actionneurs) d'une part et l'opérateur humain d'autre part ; celui-ci transforme l'information échangée entre l'opérateur et le procédé (structure 2).

- *La commande supervisée* : une part du contrôle est assurée par le système de commande automatique. La commande peut être assurée soit par l'homme (structure 3) ou par le système (structure 4). Ce mode de contrôle s'applique particulièrement à la supervision des procédés continus selon [Lambert, 99].
- *La commande automatique* : la totalité du contrôle est assurée par le système automatique. L'opérateur peut seulement observer l'état du procédé sans pouvoir agir sur celui-ci (structure 5).

Le mode de contrôle des systèmes industriels fortement automatisés et la part laissée à l'homme par rapport à la machine dans ce contrôle dépend pour beaucoup du degré d'autonomie du système de contrôle-commande qui définit le degré d'automatisation de ces systèmes [Lambert, 99].

Dans les systèmes industriels automatisés où le système de commande est fortement autonome, l'opérateur humain intervient essentiellement lors de dysfonctionnements (perturbations et/ou pannes) ou lors de phases transitoires (démarrage, arrêt, changement de points de fonctionnement, etc.) du système. Par ailleurs, les tâches de haut niveau d'un opérateur relèvent de la planification, de la transmission de commandes, de la surveillance, de l'intervention et de l'apprentissage [Sheridan, 92]. Par conséquent, les systèmes industriels nécessitant un contrôle de supervision imposent de prendre en compte l'opérateur humain dans le cadre du système Homme-Machine global. Dans ce qui suit, nous nous intéressons plus particulièrement à l'aspect interaction homme-machine relatif au système homme-machine global. En d'autres termes, il s'agit de considérer le dialogue et les interactions de l'opérateur humain avec le système à superviser.

II.3. Interaction Homme-Machine et supervision

Avec l'émergence des procédés automatisés de plus en plus complexes des systèmes industriels, la structure de contrôle-commande a évolué vers une structure hiérarchique pyramidale multi-niveaux et multi-objectifs [Caulier, 97]. Elle a dû aussi être intégrée au sein des systèmes à superviser, libérant ainsi l'opérateur humain des tâches de bas niveau. Adapté de [Sheridan, 85], [Millot, 96] a proposé une structure à quatre niveaux représentant les sous-systèmes de production ou partie opérative, le système de contrôle-commande composé d'unités locales de commande affectées à chaque sous-système de production, un calculateur dédié à la coordination des commandes locales et enfin l'équipe de supervision humaine (figure 1.4).

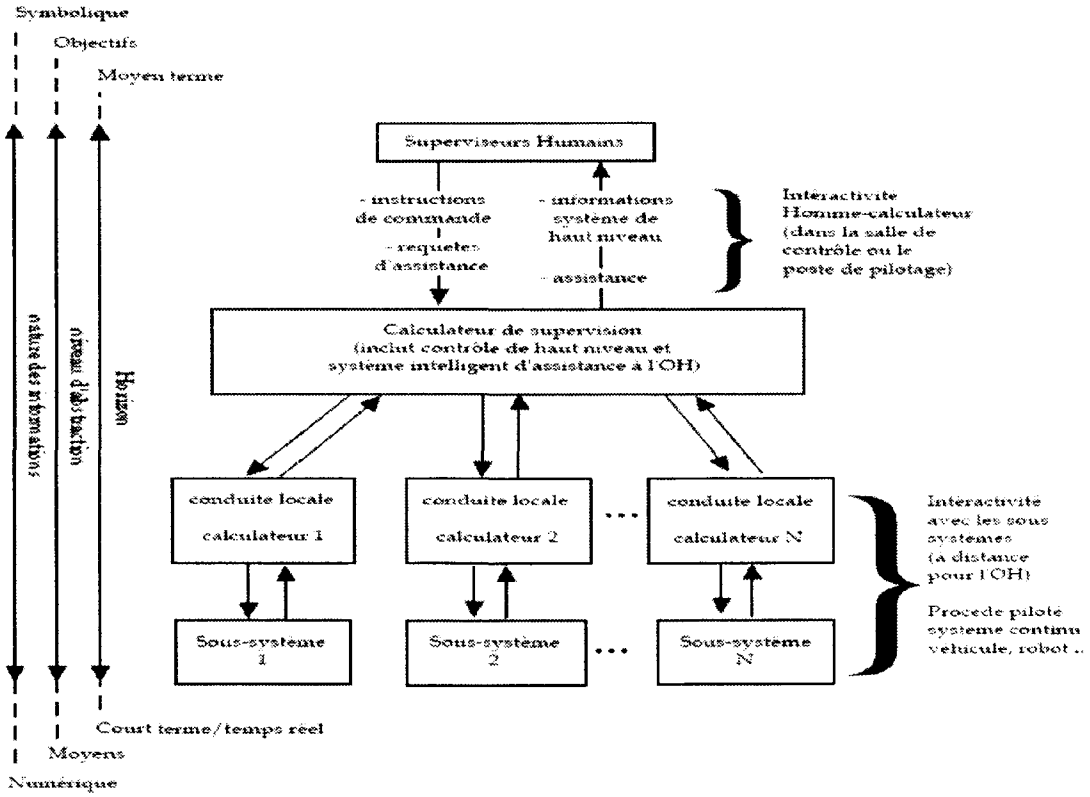

Figure 1.4. Système de Supervision (adapté de [Sheridan, 85] et complété par [Millot, 96])

On observe deux types de flux d'information au sein de cette organisation pyramidale. Un flux ascendant de surveillance est composé de l'ensemble des mesures effectuées sur le procédé et permet à l'opérateur de supervision d'évaluer l'état du procédé ; et un flux descendant de commande correspondant à la transmission des commandes au procédé. Cette transmission peut être élaborée soit directement par le système de contrôle-commande assurant ainsi son rôle de commande automatique, soit par l'opérateur de supervision assurant ainsi son rôle de superviseur.

Par ailleurs, ce schéma met également en avant trois aspects importants relatifs à cette structure pyramidale. Il s'agit de l'axe temporel des niveaux d'abstraction et de la nature des informations échangées entre les différents niveaux hiérarchiques. On observe qu'au niveau supérieur de la structure, des compétences humaines liées à la prise de décision sont requises, alors qu'elles sont d'ordre technique (relatives aux systèmes techniques composant la structure) au niveau inférieur. Notons que l'aspect *capacités humaines* demeure également critique au regard de l'évolution des systèmes de supervision dans le cadre du système d'information d'une organisation, et celui relatif aux *capacités technologiques* est considéré comme aussi important au regard de l'évolution de l'infrastructure technique de la nouvelle supervision comme nous la verrons plus loin.

La figure 1.5 illustre le positionnement de l'interface homme-machine dans un système industriel automatisé.

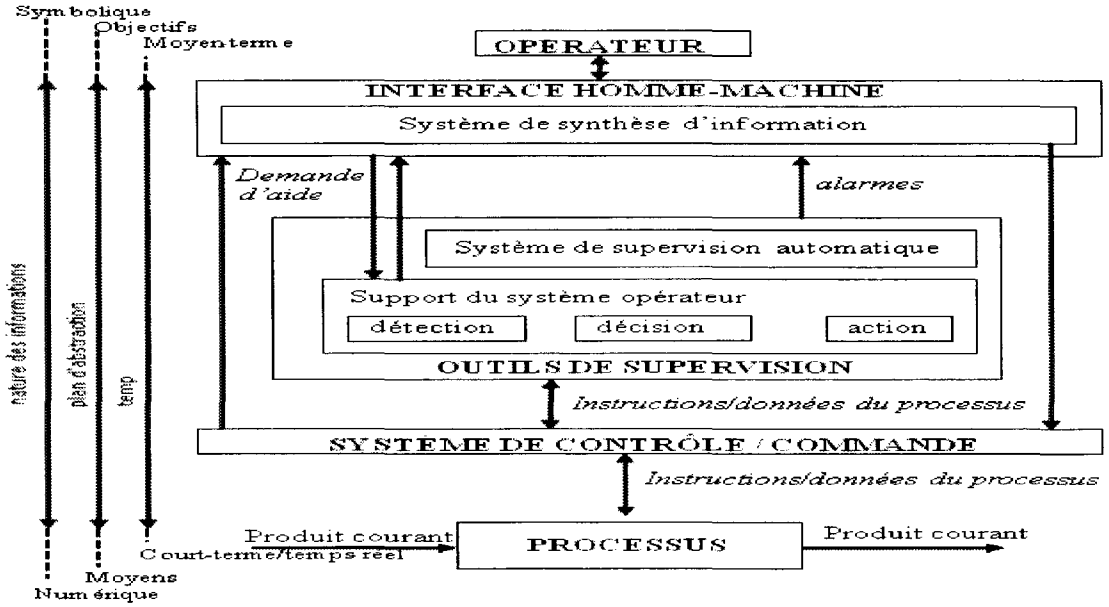

Figure 1.5. Position de l'interface homme-machine de supervision dans un système industriel complexe

Après cette présentation du contexte général de la supervision, des éléments pertinents en rapport direct avec la supervision, à savoir les fonctionnalités de la supervision, les caractéristiques de l'opérateur et ses tâches de supervision en salle de contrôle principalement, sont mis en avant et présentés ci-après.

II.4. Principales fonctionnalités d'une application de supervision

Initialement, la supervision avait pour but de coordonner, surveiller à un niveau supérieur l'ensemble des sous-systèmes composant le procédé, à des fins d'optimisation de la production, du bon fonctionnement de l'installation et de sécurité [Sheridan, 88].

D'autres auteurs définissent la supervision comme étant l'ensemble des outils et méthodes qui permettent de conduire des installations industrielles tant en fonctionnement normal qu'en présence de défaillances ou de perturbations. Les activités concernées par la supervision sont donc la conduite, la surveillance et la détection de défaillances de l'installation, le diagnostic et la prise de décision pour l'accommodation et la reconfiguration, et correspondent donc à l'exploitation en ligne des installations.

Du point de vue de l'opérateur humain, le système de supervision est vu en termes de fonctions plus que de phénomènes physico-chimiques. L'approche fonctionnelle constitue donc un mode de représentation particulièrement bien adapté aux échanges avec l'opérateur dans le cadre de la recherche de nouvelles fonctionnalités par exemple, comme nous le verrons plus loin.

D'après les définitions données ci-dessus, on peut dire qu'une application de supervision peut offrir les principales fonctionnalités suivantes : acquisition de données, conduite de procédés, représentation graphique d'informations, traitement d'alarmes et gestion d'événements, archivage et calculs sur historiques, suivi de production et traçabilité produits et gestion de bases de données (figure 1.6).

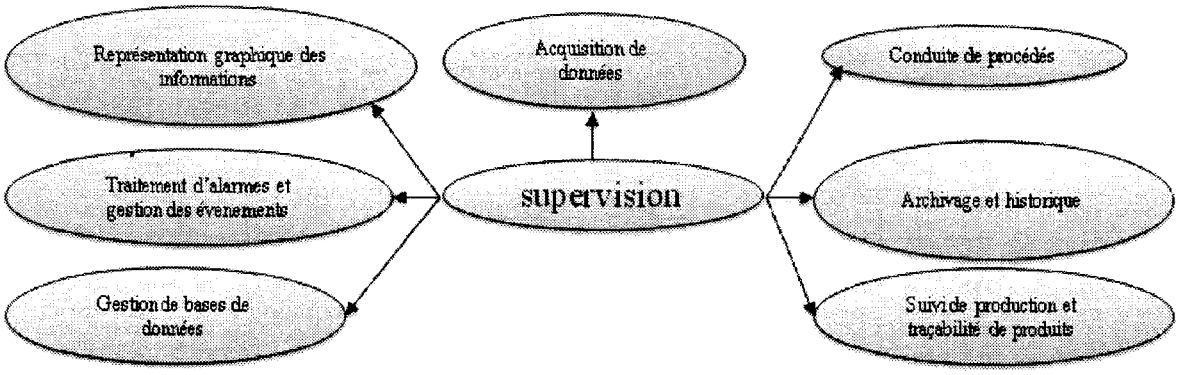

Figure 1.6. Principales fonctionnalités d'une supervision industrielle classique

Après avoir présenté les principales fonctionnalités de supervision, nous présentons dans les sections suivantes des aspects relatifs au travail de conduite et de supervision en salle de contrôle.

II.5. Les tâches humaines (opérateurs) en salle de contrôle

Les tâches des opérateurs humains en salle de contrôle correspondent aux tâches que les opérateurs humaines peuvent ou sont sensés faire lors de la supervision d'un process industriel donné. Ces tâches peuvent être décomposées selon [Rouse, 83] comme suit :

Décomposition par tâche

Les tâches humaines peuvent être regroupées en quatre grandes classes :

- *Les tâches de transition* : celles-ci correspondent aux changements de régime du procédé (arrêt, démarrage, changement de points de fonctionnement). Le système de supervision à travers son interface homme-machine doit alors permettre aux membres de l'équipe de supervision d'effectuer des procédures pré-établies, de juger de leur bonne répercussion sur le procédé et de surveiller constamment la bonne évolution de celui-ci.
- *Les tâches de contrôle et de suivi de l'installation* : le système de supervision à travers son interface homme-machine doit faciliter à l'équipe d'opérateurs de supervision la surveillance de l'état du procédé, de façon à détecter et à anticiper l'apparition d'un événement anormal, et optimiser, par des réglages fins, la production.
- *Les tâches de détection de défaut et de diagnostic* : par l'apparition d'alarmes ou/et la possibilité d'observer une évolution anormale de certaines variables du procédé, les membres de l'équipe de supervision doivent pouvoir détecter les défauts et effectuer leur diagnostic en conséquence. Il est alors nécessaire à l'interface opérateur-calculateur de permettre une mise en évidence aisée des relations cause/effet entre les variables du procédé.
- *Les tâches de compensation ou de correction* : afin de rétablir le fonctionnement normal du procédé, le système de supervision doit aider les membres de l'équipe de supervision à décider des actions à accomplir et à visualiser leurs effets sur le procédé.

Décomposition par catégorie

Les tâches humaines peuvent également être classées en quatre catégories principales comme cela a été évoqué auparavant : (1) conduite (commande), (2) surveillance et maintenance, (3) gestion et (4) organisation de la connaissance (Résolution de problèmes).

Pour mener à bien leurs tâches de supervision en salle de contrôle, les opérateurs ont recours à des outils informatiques essentiellement pour présenter des graphiques (synoptiques) de l'état du procédé et exécuter des algorithmes de traitement des données. Ces outils peuvent être couplés à des modules de raisonnements "intelligents" ou typiquement algorithmiques, d'aide au diagnostic, de prédiction de défauts, de filtrage d'alarmes, etc. Ainsi, ces outils synthétisent l'état du système complexe et aident l'opérateur lors de ses activités de contrôle. Par conséquent, la manière de présenter et d'organiser l'information joue donc un rôle prépondérant dans l'efficacité et la fiabilité de l'opérateur humain. La section suivante donne un aperçu des principaux supports d'information mis à la disposition des opérateurs dans les salles de contrôle.

II.6. Les supports d'information en salle de contrôle

D'après [Kolski, 97], la présentation de l'information relative aux procédés automatisés sur des supports d'information en salle de contrôle a suivi une évolution technologique marquée par plusieurs phases :

- Le parcours des installations : lors de cette première phase, le contrôle de procédé se faisait directement sur le terrain par des rondiers (appelés aussi opérateurs extérieurs ou opérateurs de terrain), fréquemment sollicités par les opérateurs de la salle de contrôle afin de recueillir des indices extérieurs, et parcourant les différentes unités en contrôlant au passage le fonctionnement d'appareils mécaniques en quantité limitée ou encore effectuant un diagnostic de dysfonctionnement.
- Les panneaux synoptiques muraux : vers les années 60, l'évolution technologique permit l'installation, dans des salles de contrôle, de panneaux synoptiques ainsi que d'équipements de mesure et de commande à distance. Cette installation avait pour but la centralisation des informations et la prise en compte simultanée des paramètres du process caractérisées par des centaines, voire des milliers de variables et présentant une vue d'ensemble des installations. Cependant, encombrants, difficiles à modifier, ces panneaux synoptiques sont progressivement remplacés par des écrans de visualisation à la fin des années 70.
- Les écrans de visualisation : le développement des techniques a permis l'automatisation poussée des procédés industriels et l'informatisation des salles de contrôle. Ceci a permis le passage des systèmes analogiques avec conduite par éléments individuels sur tableaux synoptiques aux SNCC (Systèmes Numériques de Contrôle Commande) à conduite centralisée sur console [Lejon, 91], ou à l'utilisation de progiciels dédiés à la supervision sur consoles graphiques. Cela a aussi entraîné une implantation croissante d'écrans de visualisation en salle de contrôle centralisant ainsi l'interface homme-machine et permettant un ensembles de vues relatives au process supervisé, comme illustré en figure1.7.

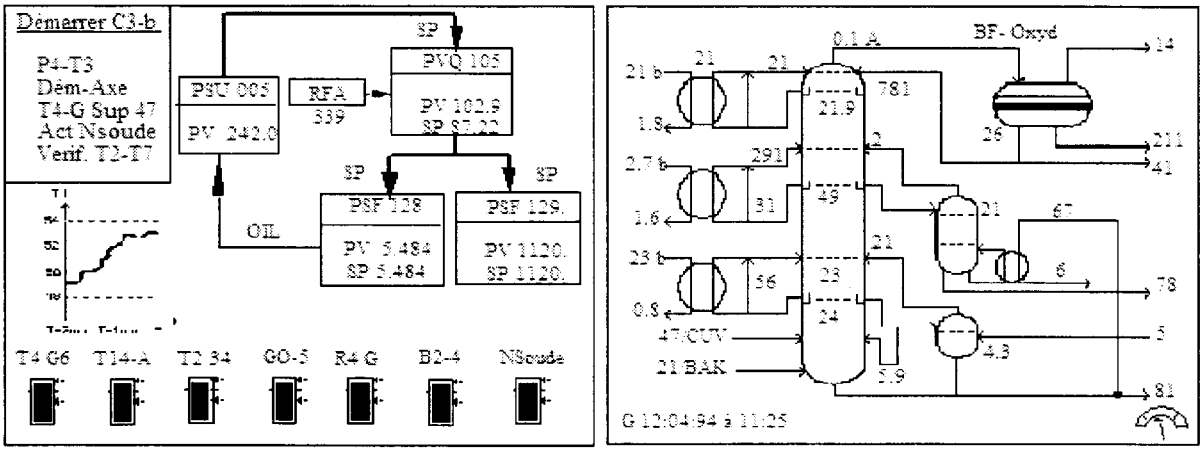

Figure 1.7. Deux exemples de vues graphiques utilisées en salle de contrôle (source : [Kolski, 97])

En marge des écrans de visualisation et de leurs avantages d'un point de vue informationnel, les panneaux synoptiques peuvent être utilisés en cas de panne informatique et faciliter la communication et la résolution collective de problème en cas d'incident [Vittet, 81 ; Reinartz et Reinartz, 89].

Néanmoins, d'autres possibilités d'affichage sont apparues grâce aux techniques de projection d'images permettant ainsi la vidéo projection d'information dans les salles de contrôle par exemple, remplaçant ainsi les synoptiques muraux selon le principe visible en figure 1.8.a.

Les modes de présentation, les synoptiques muraux et les synoptiques projetés, permettent tous deux le partage de l'information, ainsi que la surveillance de l'état du réseau, le diagnostic et l'anticipation d'événements [Dessaigne, 89]. Par ailleurs, ce type de support, piloté par un micro-ordinateur permet d'intégrer l'opérateur humain dans un environnement suffisamment réaliste vis-à-vis de la tâche de supervision [Riera *et al.*, 94].

Une alternative à la solution précédente consiste en l'affichage mural d'informations sur des écrans placés côte à côte (Les synoptiques muraux composés d'écrans), selon le principe visible en figure 1.8.b.

Les progrès réalisés dans le domaine des technologies multimédia permet d'envisager l'intégration progressive de modes d'interaction autres que graphiques et alphanumériques dans les salles de contrôle : en particulier le son, la vidéo ou encore la synthèse vocale selon le principe visible en figure 1.8.c. [Alty et Bergan, 92 ; Alty, 95 ; Johannsen, 95].

Enfin, Il est possible également de faciliter le dialogue entre un opérateur en salle de contrôle et un rondier à l'extérieur par l'intermédiaire de deux écrans intégrant chacun une fenêtre permettant la visualisation de l'interlocuteur [Kolski et Millot, 93] selon le principe visible en figure 1.8.d.

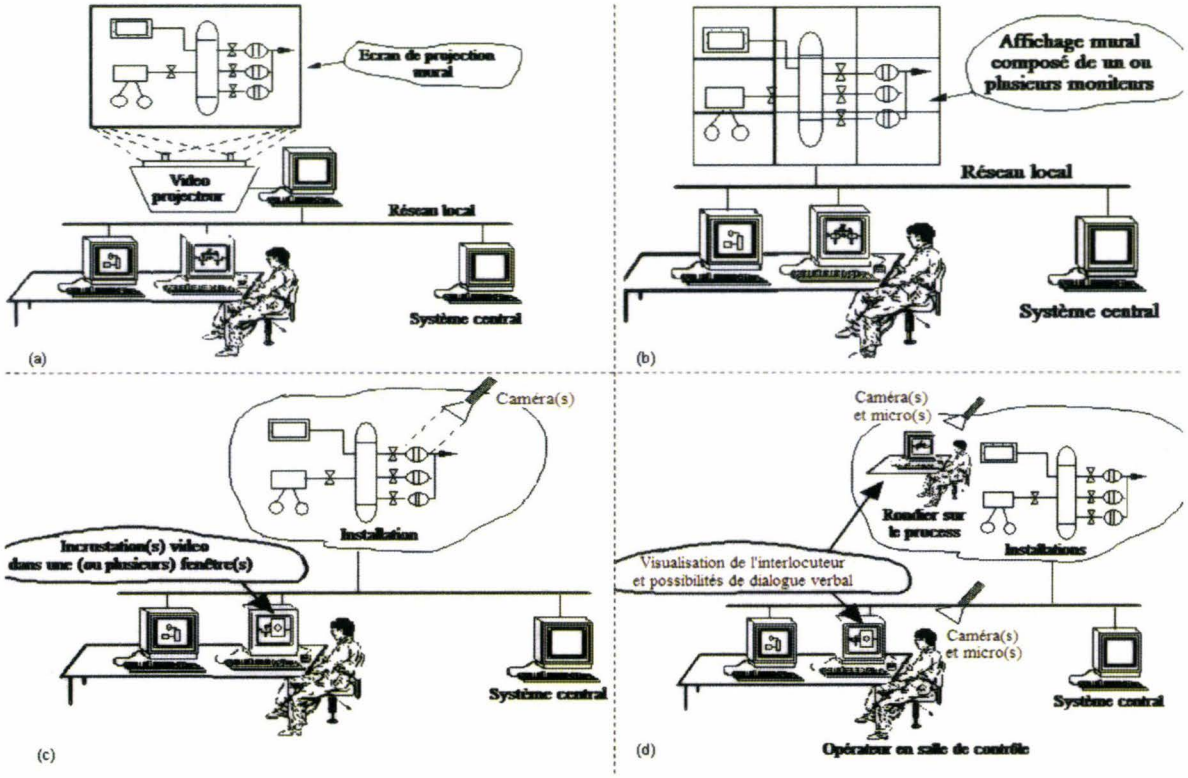

Figure 1.8.Exemples de supports d'information en salle de contrôle (inspiré de [Kolski, 97])

II.7. L'opérateur humain et le travail coopératif dans le processus de supervision

Dans certaines situations inhérentes aux tâches citées précédemment, les opérateurs de supervision ont recours également à un travail collectif dans le cadre de la résolution de problèmes par exemple [De Keyser et *al.*, 87]. Cet aspect collectif du travail met en évidence l'importance du réseau conversationnel reliant généralement les différents opérateurs de l'équipe, via des moyens classiques tels que des téléphones, des interphones, des talkies-walkies ou encore des contacts directs. Ces différents supports et moyens permettent ainsi de nombreuses interactions dans l'utilisation de l'information [Van Daele, 88]. Le travail en salle de contrôle implique donc des nécessités en négociation et en coopération homme-machine et homme-homme comme illustré par la figure 1.9.

Par ailleurs, si on analyse la communication traditionnelle ou classique sur la manière avec laquelle un opérateur interagit avec le reste de l'équipe de la supervision, on peut mettre en avant les quelques éléments caractéristiques suivants :

- Types et localisation des périphériques de communication (téléphone, radio, etc.) : ces périphériques doivent être localisés de tel sorte qu'ils ne perturbent pas d'autres opérateurs,
- Localisation des opérateurs en relation avec chacun des autres opérateurs : les opérateurs doivent être suffisamment proches les uns des autres pour qu'ils ne communiquent pas à travers la salle de contrôle et ne dérangent pas les autres opérateurs,

On distingue différentes manières permettant aux différents membres de l'équipe de supervision de communiquer et d'interagir entre eux pour l'accomplissement de leurs tâches respectives que nous résumons comme suit :

1. *Communication entre membres de l'équipe d'opérationnels*[1]

- Le niveau et les méthodes de communication entre les membres d'une équipe d'opérationnels dépendent de la *taille de l'équipe*, de la *localisation de ses membres* en relation avec chacun des autres et le *rôle des membres*.
- La localisation des différents membres de l'équipe sur le site influe sur la manière avec laquelle ces derniers communiquent. Les opérateurs de contrôle prennent généralement leur information sur l'état du site de deux sources principales :
  i. La console elle-même qui fournit l'état des variables du processus, par contre elle ne peut pas renseigner l'opérateur sur l'état des défaillances ou d'arrêt d'équipements. Pour cela, l'opérateur de contrôle compte sur l'opérateur de terrain pour faire des tests sur le terrain et prendre des échantillons. Par conséquent, il est important de noter que l'équipe d'opérationnels comprenne ce qui leur est demandé de la part des autres membres de l'équipe.
  ii. Les opérateurs de terrain : les opérateurs de terrain interviennent au pied des équipements et des machines afin de vérifier, tester, dépanner puis rendre compte aux opérateurs de contrôle.

2. *Communication entre opérateurs et Chefs de quart*

Les besoins de chaque groupe d'opérateurs (opérateurs en salle de contrôle, opérateurs de terrain, etc.) étant différents, la conception de la salle de contrôle doit balancer ou équilibrer ces différents besoins afin de fournir un environnement de travail optimal. Les consoles de supervision dans la salle de contrôle doivent être disposées de telle sorte que les opérateurs de relais ou chef de quart lors des changements d'équipes aperçoivent les opérateurs et les unités de process. Par ailleurs, le superviseur en chef doit avoir une vue globale et un accès facilité à la salle de contrôle pour des besoins en formation ou de l'assistance aux opérateurs par exemple.

3. *Communication entre opérateurs de relais*[2]

Assez souvent, au moment de changement d'équipes d'opérateurs, des informations sur les défaillances d'équipement, équipements hors services, changements dans les états de process doivent en principe être communiqués à l'équipe d'opérateurs suivante. Ceci peut se faire de la manière suivante : soit verbalement soit par des notes écrites sur supports papier. Cette façon de communiquer n'est pas sans risques pour la poursuite de la supervision par d'autres opérateurs. Dans la réalité, une information insuffisante, voire nulle, peut pour différentes raisons, être mise à disposition de l'équipe suivante.

En reprenant l'architecture des systèmes de supervision de procédé industriel vue par Sheridan [Sheridan, 85] illustré par la figure 1.4, il est possible également de situer un système Homme-Machine selon un contexte coopératif [Kolski, 97] (figure 1.9).

[1] Opérationnels : opérateurs de la salle de contrôle, rondiers, opérateurs de terrain, contre-maîtres, etc.
[2] Relais : moment des changements d'équipes

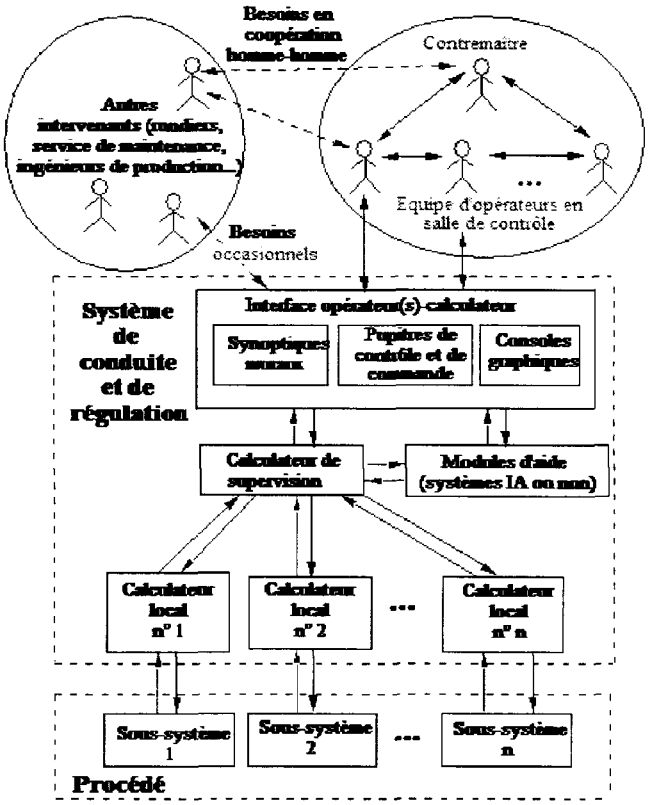

Figure 1. 9. Le système homme-machine vu sous l'angle des coopérations homme-machine et homme-homme ([Kolski, 97] étendant [Sheridan, 85])

Finalement, pour terminer avec la présentation du contexte général relatif à la supervision conventionnelle ou classique, et à travers ce qui a été avancé, nous présentons les principales limites et lacunes inhérentes à ce type de supervision.

II.8. Limites et lacunes des approches classiques de supervision et recommandations

Cette section présente un certain nombre d'éléments pouvant être considérés comme des limites et insuffisances de la supervision actuelle.

a. *Aspect communication et interaction entre opérateurs*

Dans l'approche traditionnelle de supervision, il faudrait en principe avoir systématiquement une bonne conception et un bon aménagement de la salle de contrôle afin d'améliorer les relations et les communications entre opérateurs de consoles, opérateurs de terrain, etc. L'aspect communication et interaction entre opérateurs est considéré principalement sous l'angle de la conception et l'aménagement des salles de contrôle (conception architecturale et implantation physique), non pas sous l'angle de l'IHM. Par conséquent, lors de la conception et l'aménagement des salles de contrôle on doit tenir compte des moyens à incorporer pour améliorer la communication entre les membres de l'équipe.

Par ailleurs, les opérateurs, devant être tout le temps être fixés à leur console n'ont pas toute la latitude pour se déplacer. Les moyens de communication rudimentaires ne permettent pas des échanges particulièrement élaborés.

b. Vues limitées du process

L'opérateur de supervision a une vue limitée du process vu que le nombre de variables du process pouvant être visualisée à l'écran en même temps est limité, ce qui rejoint le constat de [Lejon, 91]. Ceci oblige l'opérateur à naviguer à travers plusieurs écrans de visualisation de variables. Par contre la quantité d'information pouvant potentiellement être affichée à l'opérateur est très importante de telle sorte que l'opérateur doit filtrer et analyser celle-ci avant toute prise de décision. En plus du problème général lié à la quantité importante d'information en salle de contrôle, on a aussi celui particulier des avalanches d'alarmes possibles quand une situation anormale survient, ce qui augmente très souvent le stress de l'opérateur.

c. Éloignement des opérateurs des installations et du système à superviser

Compte tenu de l'état des technologies, les moyens de conduite en supervision traditionnelle ne permettent le plus souvent qu'une représentation abstraite et parcellaire de l'environnement complexe dans lequel évoluent les opérateurs humains.

d. Vues de supervision liées aux supports d'information en salle de contrôle

Malgré l'évolution technologique et les avantages certes réels des supports d'information en salle de contrôle, il existe néanmoins des problèmes sérieux d'utilisation de ces derniers rencontrés par les opérateurs humains dans l'accomplissement de leurs tâches. Les opérateurs humains, dans de nombreux cas soit rejettent globalement les vues qui leur sont proposées, soit demandent certaines modifications ou des vues complémentaires suite au manque de certaines informations jugées pertinentes. Parfois, les supports mal conçus entraînent aussi des erreurs humaines provoquant ainsi une perte de fiabilité et de productivité.

En conclusion, nous pouvons dire que les lacunes et insuffisances relatées ci-dessus peuvent être liées directement ou indirectement aux aspects conceptuels suivants :

- l'évaluation et la validation de l'IHM ne sont pas effectuées systématiquement après la conception des aspects relatifs à la présentation et la structuration de l'information d'une part, de l'accessibilité et la disponibilité de l'information pertinente d'autre part ;
- il y a encore trop souvent un manque ou une inadéquation entre les supports d'information et les activités et tâches des opérateurs, nécessitant des ajouts ou des corrections de vues résultant de lacunes dans l'évaluation des besoins informationnels des opérateurs lors de l'analyse préalable des tâches opérateurs.
- d'un point de vue ergonomique, de nombreux problèmes, liés aux dispositifs de signalisation, reviennent systématiquement. Ces problèmes concernent par exemple les types de cadrans à utiliser, les alarmes, les graduations ou le codage coloré, mais également la structuration et la hiérarchisation de la présentation des informations sur les panneaux synoptiques et les pupitres de commande.

A l'issue de ce qui est avancé comme lacunes et insuffisances caractéristiques de la supervision actuelle, et pour y remédier en partie, un certain nombre d'éléments conceptuels et méthodologiques à intégrer dans toute démarche de conception de supports d'activités pour la supervision peuvent être formulés comme suit :

- Il s'agit de tenir compte des divers besoins réels lors de la conception, de procéder à des évaluations précoces des solutions envisagées et enfin de procéder à l'analyse des tâches opérateurs aussi bien en situations normales qu'en situations dégradées comme nous l'expliquerons plus en détail dans les prochains chapitres.
- Pour considérer et favoriser les échanges entre les différents acteurs de la supervision, il y a un certain nombre d'aspects conceptuels et organisationnels que tout concepteur de systèmes de supervision doit appréhender, notamment relativement à l'information. En d'autres termes, faut-il déporter de l'information ? Quel type d'information ? Où installer les consoles graphiques ? Et comment les aménager ? Comment donner aux opérateurs la connaissance synthétique de l'état de l'installation selon différents formats de représentations ? Comment les aider à gérer les alarmes ?, etc. Ce sont autant de questions pertinentes à intégrer dans une démarche de conception de système de supervision futur.
- Dans le processus de conception de l'IHM, il est important de considérer les aspects de communication et interaction entre acteurs de la supervision dans un environnement fortement guidé par la technologie, celui-ci ayant un impact sur l'architecture de la salle de contrôle et les procédures opérationnelles.

En conclusion, nous considérons ces limites et insuffisances ainsi que les quelques recommandations formulées ci-dessus comme autant de motivations et de raisons nous permettant de plaider pour de nouvelles approches de conduite de la supervision. Ceci fait l'objet de la section suivante.

III. Approches nouvelles de conduite de la supervision

L'utilisation d'Internet et des technologies sous-jacentes se généralise de plus en plus dans les entreprises. Les éditeurs de logiciels et de solutions informatisées ont largement contribué à cette évolution progressive en proposant des solutions dédiées à l'automatisation de processus industriels et des outils de production [Le Parc *et al.*, 04]. L'entreprise dispose désormais d'une gamme variée de progiciels permettant d'automatiser l'ensemble de la chaîne de supervision et de production. Cependant, toute la puissance du web, et notamment celle de ses protocoles, est encore peu exploitée dans le processus de supervision. Dans un contexte d'utilisation général, Internet et les technologies du web permettent des échanges entre utilisateurs, soit de manière asynchrone avec le courrier électronique par exemple, soit de manière synchrone avec le chat (appelé aussi clavardage) par exemple.

Dans cette section, nous présentons et décrivons certains aspects importants induits par ces technologies et relatifs à la supervision, notamment l'aspect mobilité (nomadisme) des opérateurs humains, leur coopération dans l'accomplissement de leurs tâches, communication et surtout leurs besoins en information temps réel dans une perspective d'intégration dans une démarche globale de conception d'IHM. Pour cela nous nous intéressons aussi bien aux acteurs situés à l'intérieur qu'à l'extérieur de la salle de contrôle.

III.1. Mobilité – coopération – communication et besoins en information temps réel

La mobilité des acteurs de supervision, leur coopération et communication ainsi que leur besoin en information en temps réel sont des aspects importants à considérer lors de la conception de l'IHM de supervision basée sur les technologies du web comme expliqué ci-après.

Mobilité

Grâce aux réseaux sans fil et l'arrivée de nombreuses variantes de PC mobiles, les opérateurs d'atelier (rondiers, techniciens de maintenance, etc.) disposent désormais de solutions opérationnelles pour surveiller et piloter leur équipement, sans être contraints d'aller sur des postes fixes [Gomes, 03]. Dans la supervision standard ou traditionnelle, l'approche de prise en compte du nomadisme existe depuis plusieurs années, mais celle-ci imposait il y a encore quelques années d'installer des bornes de raccordement dans une multitude d'endroits pouvant être accédés par des terminaux opérateurs intégrés dans des machines spéciales ou dans des pupitres dédiés ; mais cela engendrait des problèmes ou inconvénients tels que : problèmes d'encombrement, de panne, de configuration et de maintenance. Ceci induit une complexité supplémentaire dans les développements, ainsi que des coûts de possession et leur maintenance. Cela a contraint donc à revoir le déploiement de ces terminaux opérateurs pour diminuer la complexité du système, ainsi que les coûts. Il s'agit d'adopter un nombre réduit de terminaux mobiles sans fil qui vont suivre l'opérateur dans l'atelier et lui permettre ainsi de consulter ou d'intervenir sur le procédé partout avec souplesse et efficacité.

Il existe toute une panoplie de terminaux mobiles tels que : les Tablettes PC, les PC Portables, les Terminaux sans fil, les Pocket PC, capables potentiellement d'exécuter des applications de supervision (figure 1.10). Dans ce cas, ces applications doivent être connectées aux systèmes d'acquisition via des réseaux de communication appropriés.

Figure 1.10. Potentiels périphériques d'accès en supervision

Ainsi différents scénarios de mobilité sont désormais possibles grâce aux technologies du web. La mise en réseau sans fil des appareils mobiles peut se faire selon trois scénarios possibles, répondant à trois besoins distincts : (1) accès uniquement près de l'automate ou de l'équipement, (2) accès à tout un atelier (ou toutes les machines du site), (3) accès à un ou plusieurs sites à distance.

Vers de nouveaux modes de travail coopératif

Les technologies du web s'intégrant à l'ensemble de la chaîne de supervision de systèmes industriels complexes sont susceptibles de modifier les modes de travail et d'organisation induisant ainsi de nouveaux comportements et de nouveaux modes d'organisation que ce soit en salle de contrôle, ou en dehors de la salle de contrôle.

Les technologies du web permettent à l'entreprise une mise en relation de différents outils de fabrication, de production et de supervision avec les différents niveaux de services, de gestion et de management ; elles permettent aussi d'optimiser le partage des ressources et des données et de les diffuser à tous les services de l'entreprise (administratif, production, commercial, fournisseur, après-vente...) permettant ainsi à l'entreprise d'accroître la productivité des hommes et des machines, de réduire les différents coûts de production et surtout d'être plus réactif à la demande fluctuante du marché.

Ceci permet de faciliter le partage des informations entre les différents systèmes existants (légataires) au sein de l'entreprise ou organisation comme par exemple : ERP[3], le MES[4]. L'entreprise dispose ainsi d'une solution globale de gestion de production qui lui permet de contrôler la qualité et le suivi de fabrication et d'obtenir ainsi le meilleur rendement possible de son outil de production.

L'utilisation de solutions informatiques intégrant les technologies du web devrait contribuer à la naissance de nouveaux modes de travail collaboratif utilisant ces technologies comme support pour faciliter le regroupement et l'échange des données. Cette nouvelle forme de collaboration suppose que l'information demeure en permanence disponible sur un serveur central, ces données pouvant être consultées depuis n'importe quel PC équipé d'un simple navigateur. Chaque utilisateur devrait pouvoir alors intervenir en temps réel pour vérifier, ajouter, effacer ou modifier des informations en fonction de son profil.

Besoins en information temps réel

Les TIC permettent aussi une organisation en réseau permettant de relier les systèmes de production et le management. Les différents membres de l'organisation devraient pouvoir disposer dès lors d'un accès distant et en temps réel à l'ensemble des informations et applications du système de production de l'entreprise via une interface web (navigateur ou browser).
Les flux d'informations peuvent dès lors être partagés par tous les services de l'entreprise permettant ainsi une meilleure collaboration, éventuellement en temps réel, entre les acteurs relevant de l'administration ou du management, et ceux de la production.

Le partage de données peut faciliter le contrôle des outils de production et permettre de faire remonter l'information du terrain vers les divers systèmes de l'entreprise afin que la prise de décision soit le plus rapide, et efficace possible. Dans l'autre sens, les décisions peuvent devenir plus rapidement accessibles par les opérateurs des unités de production. La réactivité de

[3] ERP (Entreprise Resource Planning) : système de gestion des ressources de l'entreprise.
[4] MES (Manufacturing Execution System) : fournit les informations nécessaires à l'optimisation des activités de production, depuis la création de l'ordre de fabrication jusqu'au produit fini.

l'ensemble de la chaîne de production peut très certainement être rendue meilleure grâce à une bonne supervision. En amont, une partie des données peut être diffusée auprès des services commerciaux (via un système de relation clients de type CRM[5] par exemple ou marketing) afin qu'ils disposent d'informations fiables sur la disponibilité des produits.

III.2. Cas d'utilisation potentiels des outils Web et nouveaux scénarios de supervision

L'utilisation des technologies du web dans le cadre de la supervision de systèmes industriels complexes en rapport avec les aspects exposés ci-dessus laisse envisager un ensemble de cas d'utilisation potentiels des principaux outils web induisant ainsi de nouveaux scénarios de supervision. Nous présentons ci-après quelques cas d'utilisation et scénarios de supervision répondant à des besoins exprimés par les opérateurs de supervision lors de leurs tâches de supervision, extraits d'une récente étude [Idoughi *et al.*, 06]. Par ailleurs, nous nous contentons d'expliquer sommairement un seul scénario montrant l'usage possible d'outils web en supervision. Par conséquent, les autres scénarios peuvent être expliqués selon un principe similaire.

Cas d'utilisation de la messagerie électronique en supervision en lien avec la relève de postes

Le scénario suivant illustre l'usage de la messagerie électronique comme moyen de communication entre les différents opérateurs concernés par la relève de poste : afin d'assurer une relève de poste sans incidents, et de minimiser la durée de cette période on peut proposer la messagerie électronique comme moyen de communication, de telle sorte que pendant une durée prédéfinie (une demi-heure par exemple) avant la relève de poste, et après avoir constaté que l'opérateur montant n'a pas consulté sa fiche informatique, le système informatique accède à la base de données relative aux profils opérateurs, récupère cette fiche et lui envoie une notification par message contenant des informations pertinentes à sa prise de poste prochaine ; l'opérateur peut recevoir le message sur son téléphone portable, son PDA, ou tout autre moyen d'accès à sa messagerie qu'il aurait choisi pour être contacté (information se trouvant dans son profil opérateur).

D'autres scénarios potentiels d'utilisation de la messagerie électronique peuvent être les suivants :

- Relève de poste à assurer dans le cas d'absence d'un opérateur montant (remplaçant).
- Relève de poste à assurer dans le cas d'absence d'un opérateur montant, avec envoi d'une copie d'un fichier attaché contenant des informations relatives à une situation de supervision donnée à adresser au chef de quart,
- Utilisation de la messagerie électronique comme moyen de communication pour assurer l'approvisionnement dans le cas d'un besoin à couvrir rapidement (ex : dans les 2 heures).
- Utilisation de la messagerie électronique pour assurer la livraison, (passage d'une commande envers la direction commerciale et établissement du bon de livraison).

[5] CRM (Customer Relationships Management) : système de gestion de la relation clientèle.

Cas d'utilisation des autres principaux outils web

D'autres outils web peuvent être aussi considérés en supervision. Parmi les principaux outils web, on peut citer entre autres :

- Les SMS (Short Message System) que l'on peut utiliser dans le cas de la relève de poste en cas d'absence d'un opérateur montant (par exemple pour prévenir rapidement une personne d'astreinte),
- la messagerie instantanée qui peut être utilisée comme moyen de communication entre les différents acteurs de supervision dans les cas d'une demande d'intervention suite à une anomalie constatée durant le processus de traitement d'alarmes, lors des prélèvement et analyse d'échantillons de produits, ou encore pour la publication des résultats des analyses,
- la vidéo conférence pouvant être considérée comme moyen potentiel pour la formation des opérateurs sur un nouveau matériel acquis par exemple,
- le navigateur Web pour l'accès à distance et la publication de documentation de supervision en ligne,
- etc.

En plus des cas d'utilisation potentiels des outils web ci-dessus, le web peut se révéler potentiellement un puissant outil informationnel d'assistance destiné à adapter la capacité de production en fonction de la demande. En outre, il permet de relier toutes les fonctions de l'entreprise entre elles en abolissant en quelque sorte le temps et la distance. Plus globalement, ceci nous conduit vers de nouvelles formes de gestion des tâches permettant un travail collaboratif comme illustré à l'aide des cas d'utilisation ci-dessus par exemple. Par ailleurs, les TIC ont aussi un impact sur l'organisation et la mise en relation (par réseaux) des différents systèmes à travers différentes architectures techniques dont les principales sont décrites très succinctement dans la partie suivante.

III.3. Architectures techniques de systèmes de supervision

Généralement, l'architecture technique qui sous-tend le système de supervision de toute organisation complexe dépend des technologies de réseaux mises en place. Selon [Gomes, 03], Il en existe trois principaux types dont nous donnerons ci-après quelques avantages et inconvénients.

- Architecture Client/serveur classique : la figure 1.11 illustre l'architecture client/serveur de supervision dans une organisation complexe à trois niveaux : (1) le niveau *postes clients* en relation directe avec les opérateurs de supervision, (2) le niveau *serveur d'acquisition* dédié exclusivement à l'exécution et à la gestion des différentes applications d'acquisition de données et qui sont reliés à travers un réseau local, généralement Ethernet ; enfin, (3) le niveau *automates programmables* (ceux-ci étant reliés à travers un réseau de terrain). Une telle architecture est caractérisée par : la nécessité d'installer le système sur chaque serveur d'acquisition d'où le coût de possession élevé (une licence client du logiciel de supervision par serveur d'acquisition) ; en revanche, on peut accéder et administrer les postes serveurs depuis les postes clients, comme elle dispose de deux réseaux de natures différentes (Réseau local Ethernet et Réseau de terrain) permettant un traitement informatique approprié et sécurisé.

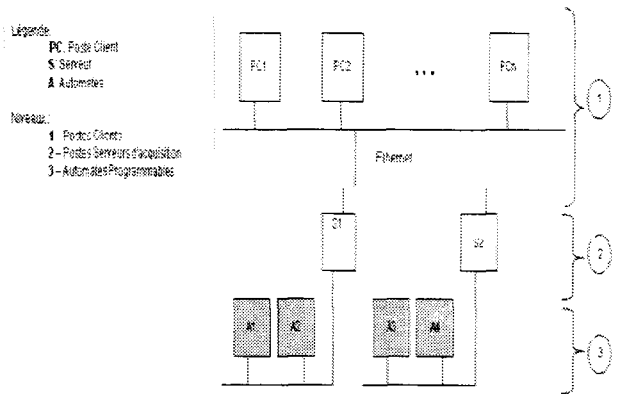

Figure 1.11. Architecture de supervision Client/Serveur classique (source : [Gomes, 03])

- Architecture avec la technologie "Web Server" : la figure 1.12 illustre l'architecture « web server » de supervision dans une organisation complexe à quatre niveaux : (1) niveau *postes clients* en relation directe avec les opérateurs de supervision, (2) le niveau *serveur web* hébergeant l'application de supervision, (3) le niveau *serveur d'acquisition* dédié exclusivement à l'exécution et à la gestion des différentes applications d'acquisition de données et qui sont reliées à travers un réseau local, généralement Ethernet ; enfin, (4) le niveau *automates programmables* (reliés à travers un réseau de terrain). Une telle architecture est caractérisée par ces éléments suivants : au niveau 1, aucune licence du logiciel de supervision n'est nécessaire mais seulement un navigateur Internet standard ; au niveau 2 : il y a nécessité d'avoir un serveur Web ; au niveau 3 : il y a nécessité de disposer d'une licence du logiciel de supervision. En revanche, on peut accéder à l'IHM de supervision à partir des postes clients (niveau 1) mais on ne peut pas administrer les postes serveurs d'acquisition du niveau 3.

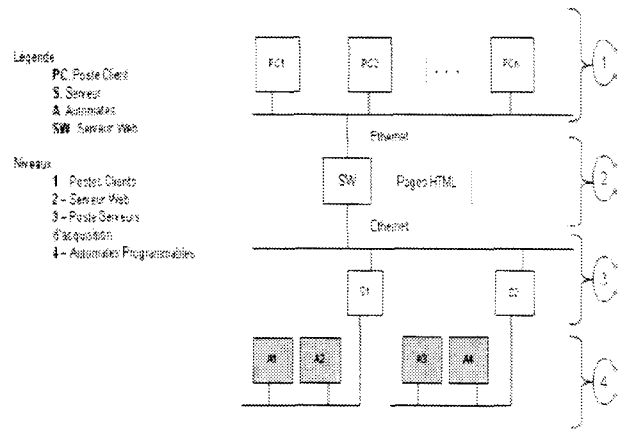

Figure 1.12 : Architecture de supervision avec la technologie "Web Server" (source : [Gomes, 03])

- Architecture avec la technologie "Terminal Server" (Client léger) : la figure 1.13 illustre l'architecture « terminal server ou client léger » de supervision dans une organisation complexe à quatre niveaux : (1) le niveau *des postes clients légers ou PDA* en relation directe avec les opérateurs de supervision, (2) le niveau *poste serveur* de type Terminal Server, (3) le niveau *serveur d'acquisition* dédié exclusivement à l'exécution et à la gestion des différentes

applications d'acquisition de données et qui sont reliés à travers un réseau local, généralement Ethernet ; enfin, (4) le niveau *automates programmables* (reliés à travers un réseau de terrain). Une telle architecture est caractérisée par ces éléments suivants : au niveau 1, on a des postes clients légers ou PDA, ne nécessitant aucune installation de logiciel, avec un OS (Système d'exploitation) quelconque ; au niveau 2, on a un poste serveur de type Terminal Server nécessitant une licence de logiciel de supervision et une licence de terminal Server, où l'ouverture d'une session différente du logiciel de supervision pour chaque connexion d'un poste client (système multi-sessions et multi-utilisateurs) ; au niveau 3, on a une licence "serveur" du logiciel de supervision sur chaque serveur, d'où un coût de possession pouvant s'avérer élevé de la solution.

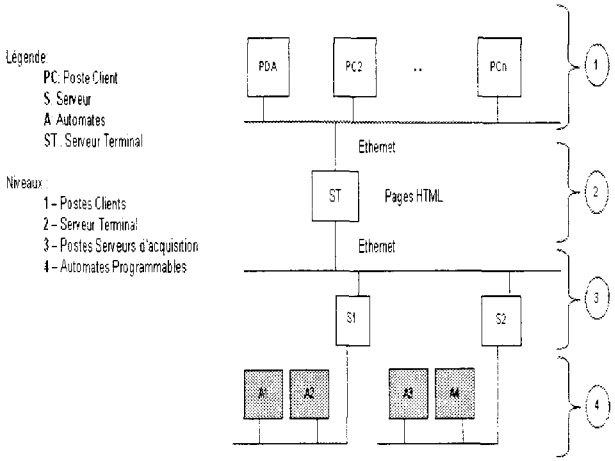

Figure 1.13 : Architecture de supervision avec la technologie "Terminal Server" (Client léger) (source : [Gomes, 03])

III.4. Caractérisation d'un système de supervision basé sur le web ou e-supervision

Un système de supervision basé sur le web (ou système de e-supervision) peut être composé d'une partie cliente accessible par tout opérateur et une partie serveur connecté au système que l'on veut superviser. Ces éléments sont reliés par un système de communication qui permet d'échanger des informations sur un réseau et sur internet. Les éléments fondamentaux en rapport avec l'IHM nous intéressant particulièrement dans le cadre de ce mémoire sont : (1) l'interface utilisateur qui permet, d'une part de visualiser l'état du procédé que l'on souhaite superviser, et d'autre part l'envoi de commandes vers le procédé ; l'état du procédé est obtenu par la fourniture de messages, l'affichage de valeurs numériques en lien avec un ensemble de capteurs et/ou à l'aide d'informations multimédia (images, vidéo, son) ; (2) le navigateur Internet ou navigateur web qui est utilisé comme plate forme d'accueil de l'interface utilisateur. Par ailleurs, l'interface utilisateur doit pouvoir fournir aussi des fonctions avancées permettant d'enrichir l'information brute avec d'autres informations comme par exemple des informations virtuelles ou bien par des animations, par exemple avec flash.

Les applications de supervision reposent sur une couche logicielle permettant l'échange de messages entre les clients et le(s) serveur(s) suivant l'architecture technique mise en place comme nous l'avons illustré dans la section précédente. Par ailleurs, différents modes et technologies peuvent être mis en œuvre. On peut citer par exemple les modèles de type

client/serveur, utilisant les sockets, ou les modèles de type objets répartis basés sur orb tel que CORBA ou les modèles de types composants communicants tels que .NET ou dans les serveurs J2EE avec les EJB.

Il apparaît clairement que l'IHM sous-jacente à l'application de supervision dépend du choix du modèle retenu, ce que le concepteur de l'IHM doit intégrer dans le processus de conception d'IHM basée sur le web.

Un système de supervision basé sur le web est donc un système répondant aux caractéristiques suivantes : implémentant des fonctionnalités de supervision au sens large, accessible par un simple navigateur standard sur le poste client, communiquant avec les utilisateurs et les systèmes, pouvant s'utiliser en mode hébergé ou sur un serveur local et exploitant les technologies du Web. Cette solution nous semble plus pratique que l'approche classique où on utilise des terminaux opérateurs au pied des machines nécessitant ainsi l'utilisation et la maîtrise d'un outil logiciel du constructeur de la machine. Par contre ici on a besoin d'une seule application globale et l'utilisateur ne doit maîtriser qu'un seul logiciel avec une interface graphique potentiellement homogène. Par conséquent, dans un cas de rajout d'autres machines ou équipements à l'installation industrielle, il suffit en principe uniquement de les raccorder au réseau fédérateur, puis de les intégrer sur le superviseur de l'atelier ou de l'usine. Ce point particulièrement intéressant représente une des motivations de notre contribution relative aux IHM de supervision avancée que nous aborderons dans le chapitre 2. La figure 1.14 illustre le schéma global d'une application d'e-supervision ou de supervision basée sur le web.

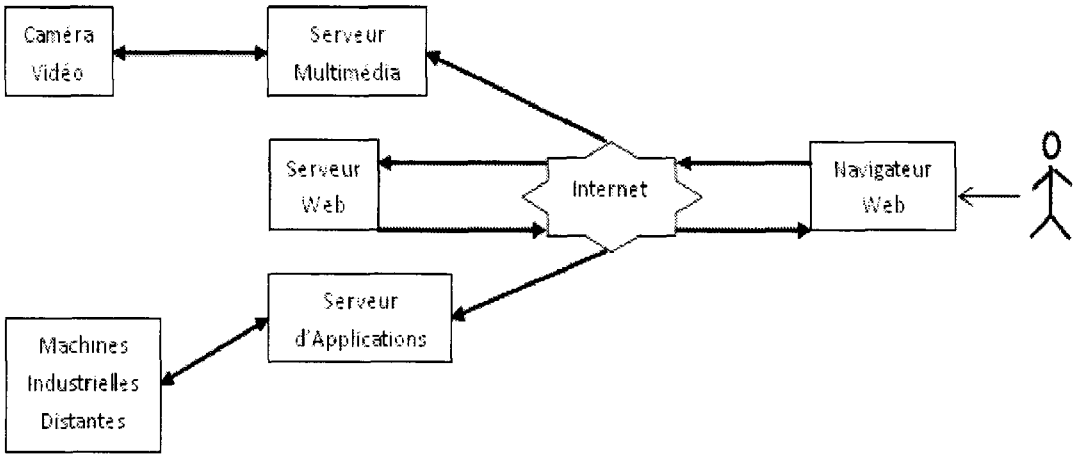

Figure 1.14 : Schéma générique d'une application de supervision basée sur le web d'après [Le Parc, 04]

III.5. Évolution des systèmes de supervision dans le cadre du système d'information global de l'entreprise

Dans cette section, nous mettons en avant un certain nombre d'éléments issus de la littérature relatifs aux liens et rôles qu'occuperait la supervision au sein d'une entreprise dans le cadre de son système d'information global héritant ainsi d'un certain nombre de concepts inhérents à ce dernier.

III.5.1. Fédérer les différents processus métiers de l'entreprise autour de la supervision

Aujourd'hui, dans un contexte industriel, le système d'information représente l'élément stratégique. Au cœur des métiers de l'entreprise, il participe pleinement à la création de valeur ajoutée au cœur des produits et des services de l'entreprise. En tant qu'outil au service des métiers, utilisant massivement la technologie, il œuvre pour l'amélioration du processus de production grâce aussi aux outils de supervision autour de l'organisation et de l'automatisation de la production.

Le système d'information peut outiller potentiellement des flux très différents, que l'on peut regrouper en deux grandes familles : les flux de données et les flux d'information : les flux de données permettent d'acquérir des données de base, parfois très hétérogènes, de les stocker, de les traiter et de les restituer à des acteurs de différents types bien déterminés au sein de l'entreprise. Par contre, les flux d'information apportent une contribution directe aux métiers. Ils permettent d'apporter aux utilisateurs les informations qui leur sont nécessaires pour exercer leur métier et pour être performants dans ce métier face à la concurrence. Parfois, ce flux d'information dépasse même le cadre de l'entreprise traditionnelle pour couvrir un ensemble d'entreprises partenaires dont les intérêts sont liés par des objectifs communs. Par ailleurs, cette contribution de l'information s'exerce à plusieurs niveaux de l'entreprise et son utilisation est très différente : l'utilisation des données nécessaires au métier de base de l'entreprise, l'utilisation des données à des fins de décision et l'utilisation de l'information collaborative.

La tendance actuelle est que la production soit pilotée par la demande et non plus par l'offre (production en flux tirés). Pour atteindre l'objectif de proposer le bon produit ou le bon service au bon moment dans un contexte concurrentiel plus marqué, l'entreprise doit mettre l'accent sur la qualité et sur les délais ; ceci exige donc de la production une meilleure et une grande flexibilité dans son organisation.

Par ailleurs, la gestion de la chaîne des approvisionnements (chaîne logistique) est devenue primordiale. En effet, les entreprises cherchent à l'optimiser afin de gagner un avantage dans l'acheminement de ses produits tout au long du processus qui va des fournisseurs jusqu'au client final. Ainsi, l'entreprise se place alors dans un contexte plus large, celui d'une *entreprise étendue*. Ceci conduit à l'ouverture du système d'information de l'entreprise, pour coordonner ses activités avec celles des entreprises partenaires. Ceci requière donc une capacité à maîtriser l'ensemble des flux du processus, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'entreprise.
Vu sous l'angle de la supervision, ceci implique que l'outil de production soit parfaitement maîtrisé afin de ne pas provoquer de rupture dans la chaîne. Les machines doivent être constamment disponibles et opérationnelles pour répondre aux besoins de la production. Ainsi, on en déduit que les objectifs stratégiques de l'entreprise à travers son système d'information global se confondent avec les objectifs opérationnels de la supervision à travers ses différentes fonctionnalités.

L'application du principe d'urbanisation [Sassoon, 98] (analogie avec l'urbanisme civil) [Contini, 02] au système d'information consiste à le reconsidérer dans son ensemble en

désimbriquant les grands blocs qui permettront aux utilisateurs métiers de remplir les objectifs qui leur ont été assignés. Cette démarche s'appuie sur les principes suivants [Vickoff, 03] :

- Découplage : il s'agit de repenser un système complexe en unités fonctionnelles plus petites, autonomes et capables de communiquer entre elles. Chaque ensemble est défini en fonction des objectifs stratégiques et des processus métiers de l'entreprise.
- Mutualisation : le but est de réduire les coûts par le partage des ressources entre les différents composants ainsi définis.
- Subsidiarité : ce nouveau découpage cherche à favoriser la réactivité des sous-ensembles en laissant le pouvoir à chacun pour tout ce qui relève de leur niveau d'action.
- Cohérence : il s'agit de définir des références et des normes qui permettront de fixer un cadre commun pour le développement de chaque sous-ensemble. Le but est à la fois de faciliter la communication et de cadrer les développements à venir.

La mise en œuvre de ces principes repose sur une structure à quatre niveaux (figure 1.15) cherchant à traduire les objectifs stratégiques de l'entreprise en outils utilisables par les différentes équipes métiers ou acteurs de l'entreprise [Rivard *et al*, 05 ; Fournier-Morel *et al.*, 06].

- Le niveau métier : représente les processus métiers de l'entreprise et ses activités.
- Le niveau fonctionnel : représente les fonctions du système d'information et les informations nécessaires au bon déroulement des processus. C'est à ce niveau que seront définis les blocs fonctionnels, les référentiels et les flux d'information qui les relient.
- Le niveau applicatif : il représente la cartographie des applications utilisées pour réaliser le métier de l'entreprise et les flux de données entre les applications.
- Le niveau technique : il représente les composants matériels qui serviront de support aux applications : machines, systèmes d'exploitation, réseaux, etc.

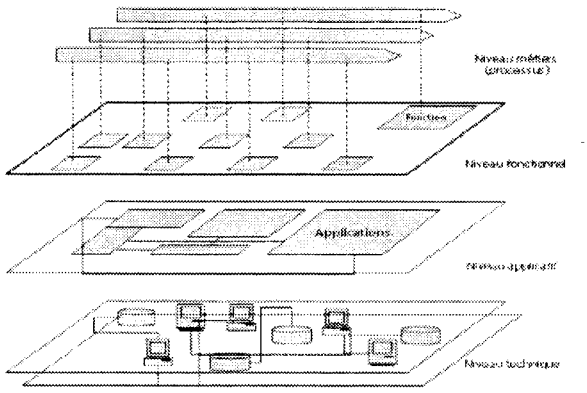

Figure 1.15. Principe d'urbanisation d'un système d'information [Fournier-Morel et al., 06]

III.5.2. Interopérabilité, intégration, hétérogénéité et supervision

S'ouvrant sur l'extérieur, le système d'information d'une entreprise a besoin de communiquer et d'échanger des informations avec les systèmes d'information des entreprises partenaires. Or il peut facilement arriver que ceci soit rendu impossible pour des raisons purement techniques. Il est donc nécessaire de faire en sorte que les systèmes d'information se donnent les moyens de s'ouvrir vers d'autres systèmes. On parle alors *d'interopérabilité du SI.* La nécessité de

l'interopérabilité implique donc de prévoir le moyen qui permettra aux différentes applications de l'entreprise dont celle de supervision de dialoguer et de s'échanger des données. Il existe ainsi des techniques ou des standards qui permettent de mettre en place des canaux de communication entre ces applications, que l'on regroupe sous le vocable d'outils *d'intégration* grâce entre autres à la norme XML (eXtensible Markup Language). Celle-ci est utilisée dans les problématiques d'interopérabilité en présentant les flux de données et les flux d'information pouvant provenir de sources diverses et de systèmes hétérogènes sous une forme structurée et standard. Les notions mises en avant dans ce paragraphe en liaison avec la supervision ou applications de supervision sont autant de facteurs de motivations supplémentaires pour une approche nouvelle de conception des IHM de supervision.

III.6. Vers de nouvelles fonctionnalités de supervision

Vu l'apport ou l'impact potentiel de l'exploitation des technologies de l'information et de la communication dans le domaine de la supervision industrielle mis en avant dans les sections précédentes sur : (1) les modes de communication et coopération entre opérateurs, (2) la mobilité des acteurs et leurs besoins en information temps réel ou non, (3) les cas d'utilisation potentiels des outils Web et nouveaux scénarios de supervision, (4) les différentes architectures et organisation permises, (5) l'évolution des systèmes de supervision dans le cadre du système d'information global en fédérant les différents processus métiers de l'entreprise autour de la supervision, alliant ainsi interopérabilité, intégration et hétérogénéité, nous pensons que de nouvelles possibilités relatives à la supervision industrielle de process sont désormais permises grâce à ces technologies du web. Ces différentes possibilités peuvent se manifester en termes de besoins exprimés par les différents acteurs impliqués plus ou moins directement dans le processus de la supervision et par conséquent peuvent être traduites directement en nouvelles fonctionnalités de supervision. En revanche, de nouvelles problématiques relatives à la conception et à l'évaluation des IHM de supervision dites avancées ou exploitant les technologies du web apparaissent et nécessitent d'être prises en compte dans des démarches adaptées comme nous le verrons dans la section suivante.

IV. Nouvelles problématiques relatives aux IHM de supervision

La présente section dresse un ensemble d'aspects importants relatifs aux IHM et inhérents à l'usage potentiel des technologies du web en supervision pouvant être considérées comme de nouvelles problématiques de conception.

IV.1. Caractéristiques réseaux dans la conception de l'IHM de supervision basée sur le Web

Connaissant les caractéristiques techniques du réseau Internet, c'est-à-dire que la communication n'est pas fiable à 100%, que la qualité peut varier rapidement, engendrant des délais de communication aller-retour relativement lents, ceci peut affecter la qualité de service du réseau.
Lorsqu'une IHM d'une application de supervision via Internet est visée, le concepteur doit avoir ces contraintes en mémoire, les intégrer dans le projet en question et faire appel à des techniques ou modèles permettant d'augmenter la QoS (qualité de service). On peut citer entre autres, les

protocoles RTP[6] et RTCP[7] [Schulzrinne *et al.*, 03], la possibilité de réservation de bande passante avec RSVP[8] [White, 97], la simplification des algorithmes de routage à l'aide de Diffserv[9] et de MPLS[10] [Agarwal et Wang, 03 ; Dragos et Collier, 02]. Certains auteurs proposent comme autre solution possible, l'utilisation de capteurs réseaux pour mesurer en permanence l'état des connexions et la prise en compte de l'état du réseau dans le cadre d'un modèle de mode en marche. Ce sont autant d'outils techniques pouvant être considérés lors du processus de conception. Néanmoins, de tels aspects ne seront pas traités dans la suite du mémoire.

IV.2. Gestion des utilisateurs, authentification et sécurité

La gestion des utilisateurs, leur authentification et la sécurité des accès sont autant d'aspects importants qu'on doit considérer lors de la conception d'une IHM de supervision. Vu la nature complexe et hiérarchique des applications de supervision, on considérera différents niveaux d'authentification et de sécurité d'où une nécessité de gestion rigoureuse et fiable des différents utilisateurs (acteurs de la supervision). En effet, nous distinguons plusieurs types d'acteurs où plusieurs profils différents expriment des besoins différents.

Par exemple, dans une perspective de maintenance et nécessité de grande expertise à ce sujet, le nombre potentiel d'utilisateurs concerné est généralement limité. Par conséquent, des services d'authentification (noms et mots de passe) peuvent être mis en place entre autres pour assurer la sécurité du système. On peut aussi envisager des catégories d'autorisations en fonction des capacités et compétences des utilisateurs. Enfin, en cas d'accès simultanés, des mécanismes de priorité en fonction de critères spécifiques peuvent être prévus à cet effet.

IV.3. Sensibilité au contexte et adaptation de l'IHM de supervision

La problématique du travail en situation de mobilité est souvent couplée à la prise en compte du contexte de travail [Delotte, 06]. Dans notre cas, il s'agit des opérateurs humains dans un contexte de supervision. D'une manière générale, le contexte inclut la localisation, l'identité des personnes et des objets à proximité, ainsi que les modifications pouvant intervenir sur ces objets. Pour [Schilit *et al.*, 94], le contexte concerne les changements de l'environnement, de l'utilisateur et des ressources de calcul. Des attributs comme le temps et la température peuvent aussi concerner ou caractériser un contexte [Brown *et al.*, 97]. Pour [York *et al.*, 04], l'utilisation et le contexte dans une application de mobilité représentent une combinaison de la tâche et de l'environnement dans lequel elle est exécutée. Ainsi, la sensibilité au contexte et l'adaptation de l'IHM sont de nouvelles problématiques de conception relatives à l'IHM de supervision, qu'il est désormais essentiel de considérer lors du processus de conception d'IHM de supervision avancée.

---

[6] RTP : Real-Time Transport Protocol
[7] RTCP : Real Time Control Protocol
[8] RSVP : Resource Reservation Protocol
[9] Diffserv : differentiated services (ou différenciation de services)
[10] MPLS : Multiprotocol Label Switching

La section suivante présente un scénario global de supervision représentant une situation typique de la nouvelle supervision (supervision avancée). Ce scénario reflétant en partie ces nouvelles problématiques met en avant certains des éléments exposés au cours de ce chapitre.

IV.4. Illustration à l'aide d'un scénario global

Un scénario de supervision peut désormais impliquer un certain nombre d'acteurs de l'organisation, concernés ou non directement par le processus de supervision proprement dit et pouvant se trouver à un moment donné dans des endroits différents éloignés les uns des autres, à l'intérieur comme à l'extérieur du site central de supervision.
La figure 1.16 en donne un exemple global en mettant en relation plusieurs acteurs humains (de différents profils), divers dispositifs d'accès (de différents profils également) ainsi que différents moyens de communications.

Le scénario concerne un service de gestion d'astreinte (appartenant à une classe plus générale de supervision de process). Ce scénario est le suivant : suite à l'apparition d'un évènement critique au niveau d'un process pouvant conduire à l'arrêt de la production voire à un accident (pouvant nécessiter l'appel des pompiers), le superviseur en chef décide de contacter un opérateur expert se trouvant hors du site central de supervision pour y intervenir dans les meilleurs délais, et lui demandant de lui transmettre un compte-rendu détaillé de son intervention. Un opérateur d'astreinte peut accéder à ce service depuis n'importe quel dispositif d'accès (PC, PDA, Pocket PC, etc.), de partout, pour superviser, diagnostiquer à l'aide de fonctions de diagnostic intégrées et au besoin, commander via intranet/internet les machines et équipements concernés. Par ailleurs, il peut accéder aux sites des différents fournisseurs pour consultation de toutes informations techniques relatives aux équipements mis en cause d'une part, comme il peut communiquer avec différents opérateurs sur site (en salle de contrôle ou en dehors) pour collaboration et coopération d'autre part.

A travers ce scénario typique, nous avons voulu mettre en avant un ensemble d'éléments caractéristiques d'une supervision industrielle exploitant et utilisant tous les avantages des technologies du web. Nous soulignons l'implication de plusieurs acteurs concernés directement ou non par l'événement survenu. Ces acteurs peuvent être soit à l'intérieur de l'organisation comme le manager, l'ingénieur de production et le superviseur en chef et pouvant accéder à travers le réseau intranet. Comme ils peuvent aussi être à l'extérieur de l'organisation : l'expert métier ou process, l'opérateur de relève, le fournisseur ou encore les pompiers. Ces derniers peuvent en effet accéder soit à travers des réseaux de communication numériques ou carrément le réseau internet. Tous ces acteurs ont un besoin spécifique et accèdent au système de supervision de l'organisation dans le but d'effectuer des tâches spécifiques et appropriées à la situation. Dans le scénario présenté, les différents aspects relatifs à l'IHM, induits par le nouveau contexte de la supervision, peuvent difficilement être pris en charge par les différents modèles de conception existants (issus du GL et enrichis) ; une nouvelle approche pour considérer ces aspects s'avère donc nécessaire. Un pas vers une telle approche fait l'objet du chapitre 4 correspondant à notre contribution.

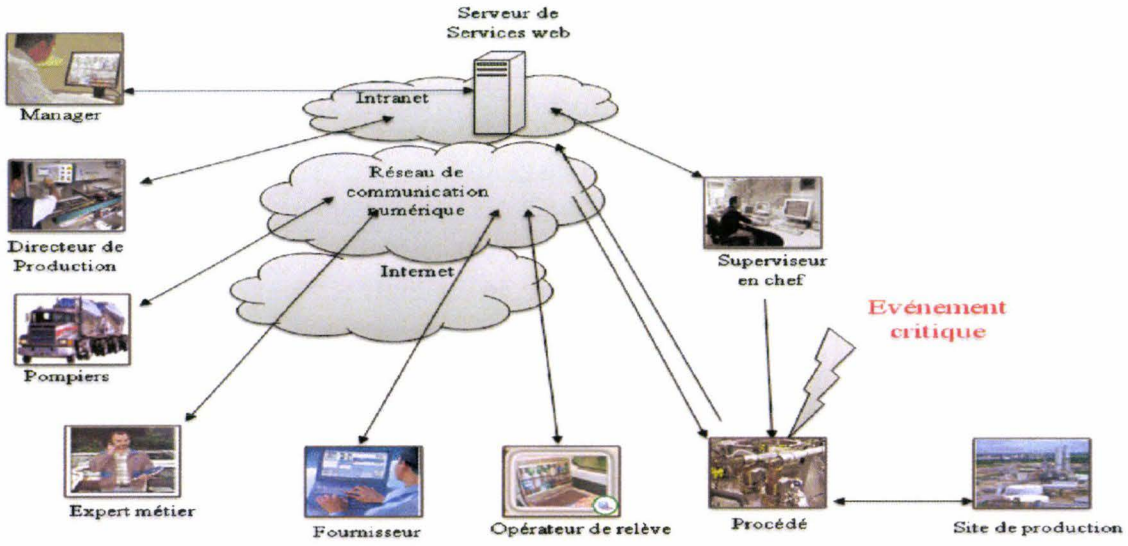

Figure 1.16. Exemple de scénario de la nouvelle supervision

V. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons dressé globalement la situation relative au contexte de la supervision actuelle ou traditionnelle. Nous avons présenté un certain nombre d'éléments caractéristiques de ce type de supervision en mettant l'accent sur des aspects relatifs au travail de conduite et de supervision en salle de contrôle, notamment les tâches opérateurs en lien avec différents supports d'information. Nous avons aussi exposé un certain nombre de limites de ce type de supervision ainsi que certaines voies d'amélioration dans le cadre d'une supervision basée ou utilisant les technologies du web, exposée en seconde partie.

Ainsi dans la deuxième partie, nous avons souligné l'intérêt et l'impact des technologies du web sur la supervision. En effet, les applications de supervision sont devenues réparties et sont construites à partir de ressources matérielles et logicielles qui sont physiquement séparées mais qui coopèrent pour réaliser différentes tâches (travail coopératif). Par conséquent, les informations nécessaires à une supervision sont devenues désormais distribuées et l'accès à l'information, son traitement, se font souvent dans des lieux différents, pas nécessairement en salle de contrôle. Les supports d'information sont aussi très hétérogènes, ceci étant dû à la diversité des équipements, des différents systèmes d'exploitation, des langages de programmation, des nombreux types de bases de données. Il apparaît donc nécessaire de considérer la supervision dans un environnement technologique (matériels et applications) hétérogène et distribué.

Par ailleurs, la supervision d'un système industriel complexe accumule un nombre considérable d'informations devant être traitées et analysées efficacement par différents acteurs de la supervision (responsables de production, méthodes, qualité, maintenance et autres). Ces informations et données échangées s'accroissent relativement au nombre de plus en plus important d'équipements qu'il devient possible de superviser grâce aux technologies du web.

Par conséquent, la supervision doit pouvoir fournir suffisamment d'outils et de méthodes de visualisation et d'extraction d'informations permettant une information synthétique, accessible de partout, au moment voulu et indépendamment des dispositifs d'accès (PC, PDA, Pocket PC, etc.).

Dans ce chapitre, nous avons voulu mettre l'accent sur l'IHM de supervision dans un contexte technologique nouveau et en constante évolution, lequel est caractérisé par des aspects importants comme la mobilité et la coopération entre les différents acteurs de supervision d'une part, et l'inter-connectivité, l'interopérabilité et l'hétérogénéité des systèmes industriels utilisés d'autre part. Ceci afin de dégager de potentielles et nouvelles solutions technologiques pouvant être attrayantes pour les ingénieurs d'une part et devant conduire à de nouvelles problématiques de conception pour les concepteurs d'IHM et ergonomes d'autre part.

Le contexte technologique en question est celui relatif aux technologies du web et de l'Internet, où peu de travaux ont été réalisés pour obtenir un retour d'expérience quant à l'exploitation et l'utilisation de ces technologies dans le contexte de la supervision, malgré un potentiel mis en évidence par plusieurs auteurs [Hung *et al.*, 03 ; Warnier *et al.*, 03 ; Yang *et al.*, 03 ; You *et al.*, 03]. La supervision et le contrôle basés sur Internet et les technologies sous-jacentes étant un nouveau et récent concept, peu de travaux ont été effectués pour développer des méthodes de conception systématiques, dans lesquels des volets importants de conception sont à considérer selon un nouvel angle de vue [Yang *et al.*, 03] ; en particulier : la spécification des besoins relatifs aux acteurs de différents types distribués dans le temps et l'espace, la sélection d'architecture ou de modèle d'architecture basé sur le web, la conception d'interface Web, la supervision et le contrôle (et un ensemble de tâches annexes) exploitant les potentialités du web, les tests de sûreté du système totalement distribué et l'accès concurrentiel aux utilisateurs (et donc pas seulement aux opérateurs de la salle de contrôle, mais à un ensemble d'intervenants de différents corps de métier, et de niveaux hiérarchiques variés). Ainsi, cette nouvelle situation de la supervision engendre de nouvelles problématiques relatives à la conception de l'IHM de supervision comme cela a été exposé dans ce chapitre.

Dans ces conditions, la nécessité ou le besoin d'une nouvelle approche pour la conception et l'évaluation de ces nouveaux systèmes de supervision de processus industriels devient impératif ; de nouvelles perspectives et problématiques semblent apparaître pour les concepteurs et développeurs d'IHM en général et de supervision en particulier. Il s'agit de nouvelles problématiques de conception impliquant de nouvelles technologies et de nouveaux moyens de communication (assistants personnels, organiseurs, téléphones cellulaires, etc.), du travail collaboratif, des activités complexes, critiques, ou mal structurés. Elles permettent de nouveaux challenges. Ceci concerne tous les process métiers couvrant un ensemble d'entreprises, évoquant plusieurs acteurs, nécessitant des communications asynchrones et évoquant des scénarios qui changent fréquemment d'où l'apparition de la notion d'agilité, comme nous l'expliquerons au chapitre 3.

Le développement d'IHM de supervision peut être aussi considéré comme un projet de réingénierie de l'infrastructure technique du système légataire (existant) de l'entreprise.

Une stratégie pour remplacer les applications légataires difficiles à maintenir par de nouvelles applications est nécessaire et même recommandée.

C'est dans cette optique que nous situons notre travail de recherche œuvrant à contribuer au développement de systèmes Homme-Machine en général et aux IHM de supervision en particulier. Notre contribution se base sur une démarche s'appuyant conjointement sur les résultats issus des sciences de l'ingénieur pour les aspects techniques en fournissant des méthodes d'analyse et de modélisation des systèmes, d'une part ; des sciences cognitives pour les facteurs humains en apportant des méthodes d'analyse de la tâche et de l'activité, d'autre part. En effet, les approches de développement issues du génie logiciel existantes ou classique que nous exposerons dans le chapitre 3 ne répondent pas à ces préoccupations majeures lors d'un développement ou de conception intégrant la dimension technologique notamment celle du Web et des sciences et technologies de l'information et de la communication quand des IHM nouvelles en supervision sont visées. A cet effet, un nombre de pistes méthodologiques en vue de nouvelles approches pour la supervision, relatives aux apports du génie logiciel, de l'IHM d'une part et des technologies du web d'autre part, seront dressés dans les chapitres 2 et 3 en exposant les motivations et objectifs recherchés.

CHAPITRE II : ORIENTATION SERVICE ET ARCHITECTURE ORIENTÉE SERVICES (SOA)

I. INTRODUCTION 36

II. ÉLÉMENTS ET CONCEPTS CLEF DE SOA 37
II.1. Le concept de service 37
II.2. Caractéristiques générales des services 37

III. LES SERVICES WEB 42
III.1. Applications composites 44
III.2. Les technologies de la couche interface utilisateur (IHM) 46

IV. ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES LIÉS À SOA 47

V. CONCLUSION 50

CHAPITRE II : ORIENTATION SERVICE ET ARCHITECTURE ORIENTÉE SERVICES (SOA)

I. Introduction

Une architecture orientée services (SOA[11] de l'anglais *Service-Oriented Architecture*) est un moyen de réutiliser l'existant (applicatifs métiers) et de le transformer en des services plus *agiles* c'est-à-dire visant une grande interconnexion entre les différents départements, groupes de travail ou simples acteurs de l'entreprise, pour aller vers des capacités de réactivité de plus en plus grandes »... [De Gamma, 03]. Cette définition peut selon nous correspondre parfaitement au nouveau contexte d'une supervision exploitant les nouvelles technologies du web. Elle repose sur la notion de services répondant aux critères suivants : *faiblement couplés*, *distribués*, *invocables*, *publiables* et *orientés métier*.

C'est aussi une *approche de développement de logiciels décomposant tout en services* (composants logiciels) [Avignon *et al.*, 02 ; Poh Lee *et al.*, 06] adressant un besoin spécifique, dans un objectif de réutilisabilité, simplicité et interopérabilité (objectifs de conception mis en avant dans le chapitre 1).

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 1, le nouveau contexte du domaine de la supervision industrielle est caractérisé par l'évolution des besoins et des métiers autour de la supervision, l'évolution des technologies, et les coûts investis dans la maintenance et la possession de licences. Trois stratégies principales peuvent guider ou motiver une démarche ou un projet SOA [Avignon *et al.*, 02]. Dans le domaine de la supervision industrielle, il s'agit de : (1) une stratégie *pilotée par les métiers*, qui consiste à imposer à l'informatique ou au système d'information d'une organisation de type industriel d'évoluer suite aux changements incessants et fréquents des besoins métiers de la supervision ; (2) une stratégie *pilotée par les technologies,* qui consiste à offrir des opportunités aux différents métiers à travers l'émergence de nouveaux besoins suite à l'évolution de l'offre technologique telle que internet, la téléphonie mobile, etc. ; (3) une stratégie *pilotée par les coûts*, qui consiste à revoir ou à réformer tout ou une partie de silos du système de l'organisation suite aux coûts élevés de maintenance, de possession, etc.

Dans ce qui suit, nous présentons et passons en revue les éléments et concepts clés de cette approche tout en mettant l'accent sur certains aspects jugés pertinents pour l'interaction Homme-Machine et pouvant servir d'éléments supplémentaires en vue de la conception d'IHM de supervision avancée.

[11] SOA : terme suggéré par le Gartner Group (www.gartner.com) dès 1996, propose de définir les échanges en termes de services. Les principes de base : une interface standard, un vocabulaire partagé, la mise en relation de composants logiciels clients consommateurs de services avec des composants fournisseurs des susdits services indépendamment de la localisation physique des systèmes (source : http://www.piloter.org/process-management/SOA.htm).

II. Éléments et concepts clés de SOA

Dans cette section, nous présentons un certain nombre d'éléments correspondants aux aspects conceptuels de l'approche orientée services.

II.1. Le concept de service

Un service au sens SOA correspond à un composant logiciel mettant à disposition d'acteurs (humains : clients, partenaires métier) intervenant dans des processus métier d'une organisation complexe, un accès vers une ou plusieurs fonctions métier (fonctionnalité métier) à travers plusieurs opérations. Un service représente donc une fonctionnalité requise pour des utilisateurs telle que : rechercher une information, exécuter un processus de prise de commande, etc. Il offre une vue logique des traitements et données, existant déjà ou à développer, masquant ainsi l'hétérogénéité du système d'information de l'organisation. Cette vue de service est totalement découplée de toutes considérations techniques.

Afin d'illustrer la notion de services, quelques exemples de services peuvent être fournis :
(1) un service *gestion des clients* pourrait offrir une vue client unifiée en agrégeant des informations éparses du système d'information, le service récupèrerait la fiche client et les noms des contacts dans le système CRM (gestion de la relation client), le contrat du client dans l'ERP (gestion et planification de ressources). Tout ce travail d'agrégation se ferait d'une manière transparente et masquée aux utilisateurs du service ;
(2) un service *gestion de catalogue produits* pourrait mettre à disposition les informations sur les produits d'une entreprise ;
(3) un service *gestion des stocks* pourrait mettre à disposition des clients des informations récupérées dans des bases de données de l'entreprise (usines ou entrepôts) ; etc.

II.2. Caractéristiques générales des services

Un ensemble d'éléments caractéristiques des services peuvent maintenant être passés en revue.

La séparation de l'interface et de l'implémentation du service

Un service se décompose en deux parties (figure 2.1) correspondant aux vues interne et externe [Raymond, 07] ou interface et implémentation : (1) la vue externe, correspondant à la spécification de service, expose la facette service proprement dite. Elle est constituée par un ensemble d'opérations de services (figure 2.2) regroupées en interfaces et de mécanismes pour les utiliser (types de données échangées, contrat de service[12], propriétés, etc.). Cette spécification est décrite par un fichier **WSDL**[13] (Web Service Description Language) (voir section sur le modèle d'interaction des Services Web, §III et des éléments supplémentaires dans l'annexe A) ; pour exécuter ou demander un service, le consommateur ou client émet une requête vers le fournisseur de services qui renvoie une réponse tel que, à chaque couple (requête, réponse) corresponde une opération effectuée par le service. L'opération est exécutée par le

[12] Contrat de service ou conditions d'utilisation du service : il spécifie l'objectif, la fonctionnalité, les contraintes et les usages du service. Il est défini par le métier (source : www.softeam.fr).
[13] Pour de plus amples informations sur WDSL, cf. : http://www.w3.org/TR/2007/REC-wsdl20-20070626

service sur réception de la requête associée et est chargée de renvoyer la réponse ; (2) la vue interne (ou implémentation) décrit le contenu du composant. Elle contient des informations relatives à la logique interne comme le détail des traitements, les algorithmes, etc.

Par exemple, un contrat de service peut restreindre l'usage d'une fonctionnalité offerte à travers une interface suivant la fonction de l'utilisateur du service, ou par sa localisation (externe ou interne) à l'organisation.

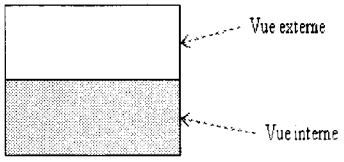

Figure 2.1 : composant de service

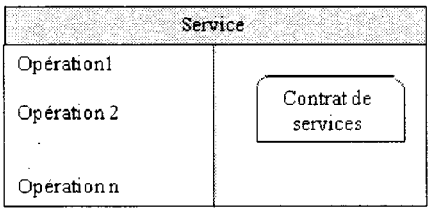

Figure 2.2 : Service et contrat de service

Par ailleurs, un service exposant un traitement peut être utilisé par plusieurs consommateurs ou utilisateurs tels que : un utilisateur via une application composite interactive (voir ci-dessous), un système traditionnel ou applicatif (c'est-à-dire un système légataire ou existant doté d'une technologie différente non basée sur le web), un processus métier, ou encore un autre service SOA, comme le montre la figure 2.3.

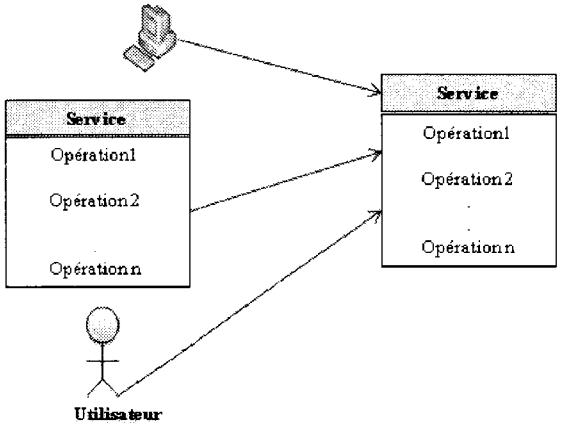

Figure 2.3: Types de consommateurs ou utilisateurs potentiels de services

De même quand il s'agit de construire ou concevoir un système orienté services qui réponde aux attentes des utilisateurs finaux, il y a lieu de considérer certains aspects importants et caractéristiques des services tels que : la typologie, la granularité et la composition de services [Vickoff, 01 ; Avignon *et al.*, 02].

Typologie de services

C'est une notion qui correspond à la nature ou catégorie relative à la fonctionnalité du service. En d'autres termes, elle correspond aux types d'usages des services. Ceux-ci peuvent être principalement de deux types :

- Services organisationnels ou métier : ils sont des cas d'utilisation ou actes de gestion métier. Les règles (conditions d'utilisation) contenues dans ces services étant liées à la structure de l'entreprise, au métier, elles sont assujetties à des changements. Ce sont des services de haut niveau orchestrant ainsi d'autres services (services composés). Ils sont exposés en tant que fonctionnalités à un utilisateur via une IHM. Ceci consiste en un ensemble cohérent de traitements métier tels que par exemple : accéder et obtenir des informations clients, simuler et calculer impôts ou diverses taxes relatives au(x) clients(s) (ou encore une composition de ces traitements).

- Services d'infrastructure ou techniques: ils regroupent un ensemble de fonctionnalités transverses à un système et donnent accès à une ressource donnée. Ce sont des services purement techniques et dont l'existence est pilotée et décidée par l'informatique et non pas par le métier. Tels que l'accès à une base de données, ou à un service d'impression par exemple.

Ainsi, un service métier peut s'appuyer sur un ou plusieurs services techniques pour exécuter ses traitements (par exemple, un service *métier* en lien avec la gestion de production, permettant de fournir un document de synthèse sur les produits sur une période donnée, nécessitant le service *technique* d'impression).

Granularité de services [Vickoff, 01 ; Avignon *et al.*, 02]

C'est une notion qui se réfère au niveau d'abstraction du service, donc à sa complexité. On peut citer :

(1) les services de grosse ou forte granularité ou services à gros grain : ce sont des services exposant la valeur métier d'un système (système d'information ou bloc applicatif), à l'extérieur de ses frontières, en masquant la complexité de la logique interne (abstraction). Ces services abstraits sont généralement associés à un cas d'utilisation possédant une valeur ajoutée intrinsèque pour l'utilisateur final du service. Ce sont des services permettant d'accéder à une fonctionnalité métier complexe. Leur exécution est longue et peut impliquer la coordination de l'exécution de plusieurs services de fines granularités. Par exemple, le service *gestion des clients* donné précédemment peut faire appel à d'autres services de granularités faible tels que le service de récupération de la fiche client et le service d'accès au contrat du client. Donc l'exécution du service de la gestion des clients (service de forte granularité) nécessite aussi celles des deux autres services de granularités inférieures ;

(2) les services de fine granularité ou services à fin grain : ce sont des services ne supportant pas de cas d'utilisation. Ils correspondent à des fonctionnalités élémentaires qui trouvent leur valeur dans la réutilisation, que l'on soit au niveau application à travers des composants logiciels communs ou entre application à travers des services partagés entre différentes applications d'un système [Zimmerman *et al.*, 04]. Ce sont des services fournissant des fonctionnalités ne pouvant pas être décomposées, tel que : un service d'accès à une ressource technique.

Composition de services

C'est l'opération par laquelle l'agrégation de services est rendue possible dans une application ou système orienté service ; c'est-à-dire que cela revient à exposer un ensemble de services consolidant des informations issues de plusieurs domaines fonctionnels (sources) en vue d'obtenir ou modéliser un service de haut niveau ou service composé [Fournier-Morel et al., 06]. Ceci permet de construire de nouveaux services de forte granularité (figure 2.4). Un service est dit composé ou composite lorsque son exécution implique des interactions avec d'autres services afin de faire appel à leurs fonctionnalités.

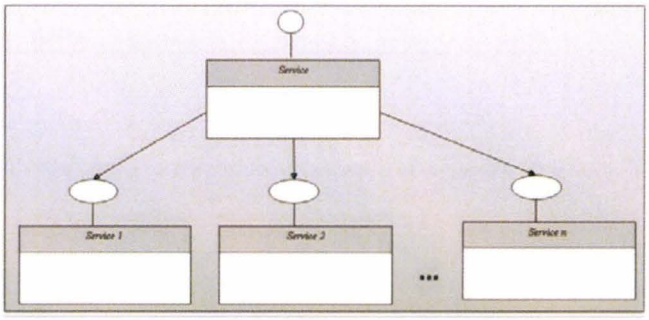

Figure 2.4: Création d'un nouveau service par composition

Par ailleurs, la composition de services spécifie quels services ont besoin d'être invoqués, dans quel ordre et comment gérer les conditions d'exception. Ceci peut se faire de deux manières possibles.

Orchestration de services

L'orchestration (Vickoff, 01 ; Raymond, 07) décrit l'interaction des services au niveau de messages, incluant la logique métier et l'ordre d'exécution des interactions. L'orchestration est en fait une opération algorithmique d'enchaînement de services, selon [Legardeux, 06]. Elle peut être vue comme étant un système (mécanisme) qui permet d'enchaîner les services en assurant la succession des tâches, le contrôle de la bonne exécution, les reprises en cas d'incident, etc.

L'orchestration définit un service Web central pour orchestrer un processus de déroulement des opérations (workflow) au sein d'une entreprise. La figure 2.5 illustre un exemple d'utilisation d'un orchestrateur de services où les interactions pouvant exister entre les quatre services web sont gérées et contrôlées (orchestrées) par un moteur d'orchestration (ex. BPEL).

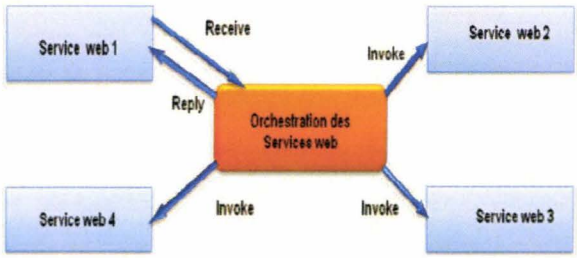

Figure 2.5 : Orchestration de services

La figure 2.6 donne un diagramme de séquence de l'orchestration des services web.

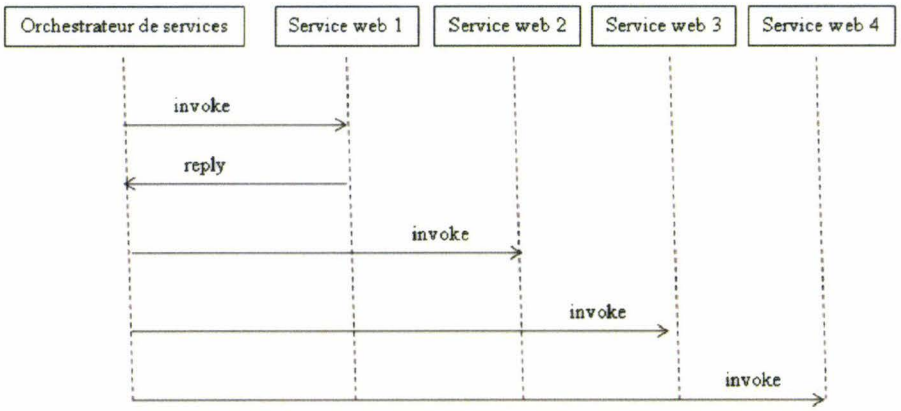

Figure 2.6. Exemple de diagramme de séquence d'orchestration de services web.

Chorégraphie de services

La chorégraphie[14] de services [Rivard *et al.*, 05] est un mécanisme différent de l'orchestration, dans la mesure où il n'y a pas de service Web central pour orchestrer d'autres services mais ces derniers fonctionnent indépendamment les uns des autres mais d'une façon coordonnée. La chorégraphie implique des interactions pair-à-pair entre les services web. Il existe une spécification basée sur XML permettant de décrire la chorégraphie des services : WS-CDL (Web Services Choregraphy Description Language ; cf. http://www.w3.org/TR/2004/WD-ws-cdl-10-20040427/).

La figure 2.7 illustre un exemple de chorégraphie de services.

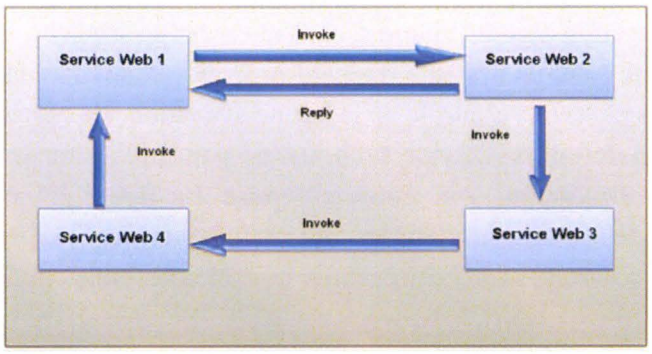

Figure 2.7: Exemple de chorégraphie de services

La figure 2.8 donne un diagramme de séquence d'une chorégraphie de services web.

[14] En informatique, la chorégraphie est une généralisation de l'approche par orchestration qui consiste à concevoir une coordination décentralisée des applications, dans laquelle il n'y a pas de machine privilégiée (serveur informatique) mais un réseau de machines interconnectées qui échangent des messages et effectuent des calculs (source : http://wapedia.mobi/fr).

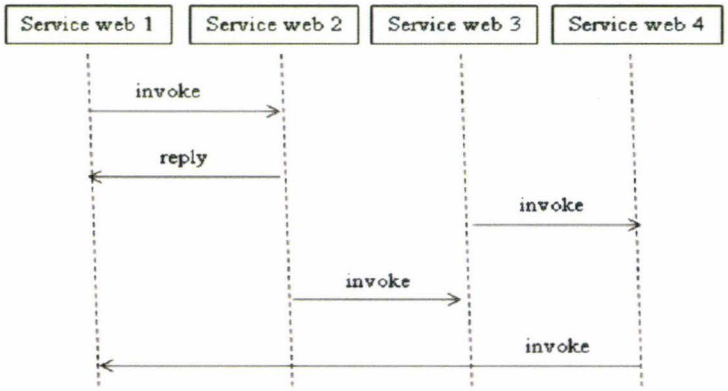

Figure 2.8: Chorégraphie de services

Il existe plusieurs propositions pour la définition de la composition de services web. On peut citer entre autres : WSCI (Web Service Choreography Interface ; cf. http://www.w3.org/TR/wsci), WSCL (Web Service Conversation Language ; cf. http://www.w3.org/TR/wscl), XLANG (format proposé par Microsoft pour représenter en XML l'orchestration d'activités d'un processus métier [Chauvet, 02]), WSFL (Web Service Flow Language ; cf. [Leymann, 01]), WS-BPEL (Web Services Business Process Execution Language ; cf. http://www.oasis-open.org/committees/wsbpel).

Enfin, d'après ce qui précède, on en déduit qu'il est envisageable d'accéder à des services offerts par le système d'information d'une organisation, comme il est aussi envisageable pour cette organisation d'ouvrir ses propres services au monde extérieur de façon contrôlée, permettant ainsi une intégration d'acteurs externes dans un processus métier.

Après avoir présenté succinctement les éléments et concepts clefs d'une approche orientée services, il s'agit dans la section suivante de préciser les éléments permettant de réaliser une SOA.

III. Les services web

La technologie des services web (www.w3.org) permet de réaliser l'approche orientée services. C'est donc un espace technologique de réalisation permettant de faire communiquer les applications entre elles. Les services web permettent de réduire les coûts et la complexité dans la mise en œuvre d'une SOA [Kadima et Monfort, 03] comme nous l'expliquons dans la section suivante. Certains auteurs ont récemment souligné l'intérêt ou l'apport des technologies des services web en rapport direct avec l'environnement de l'entreprise devenue (ou qualifiée de) virtuelle [Rezgui, 07], et devant réorganiser son processus métier et mettre sa logique métier accessible à partir d'Internet ou intranet [Hao, 05] ; ceci est réalisé à travers des services métiers communs mutualisés[15] pour un ensemble de lignes métier ou d'applications [Raymond, 07].

[15] Par mutualiser, on entend favoriser la réutilisation de services métiers par plusieurs lignes métiers ou applications en permettant la construction de services de haut niveau par combinaison de services existants.

Les services web sont des applications auto descriptives, modulaires et faiblement couplées, pouvant réaliser des fonctions allant de simples requêtes aux processus métiers sophistiqués. Ce sont des composants logiciels d'un système d'interaction fondés sur le web, pouvant être déployés sur de multiples canaux de distribution mettant ainsi en interaction des applications, des ordinateurs et processus métiers et donnant accès d'une manière uniforme à un ensemble de services applicatifs distants adaptant la présentation de l'information au canal de distribution [Kadima et Monfort, 03].

Les services web s'appuient sur un modèle d'interaction (figure 2.9) assurant trois rôles : (1) fournisseurs de services, (2) annuaire de services, (3) demandeurs de services, pouvant être réalisés selon les trois types d'opérations suivantes : (1) publication de description des services (publier/publish), (2) recherche et découverte de la bonne description de service (trouver/find), (3) association ou invocation de services basés sur la description (lier/bind) d'une part, et sur un ensemble de protocoles standards tels que : HTTP, SOAP (www.w3.org), WSDL (www.w3.org) et UDDI (www.uddi.org) assurant respectivement le transport, l'invocation, la description et la recherche de services web d'autre part comme illustré par la figure 2.10.

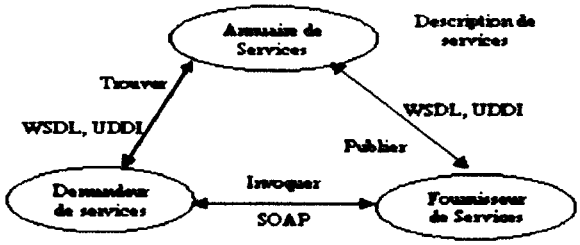

Figure 2.9: Modèle de référence des services web

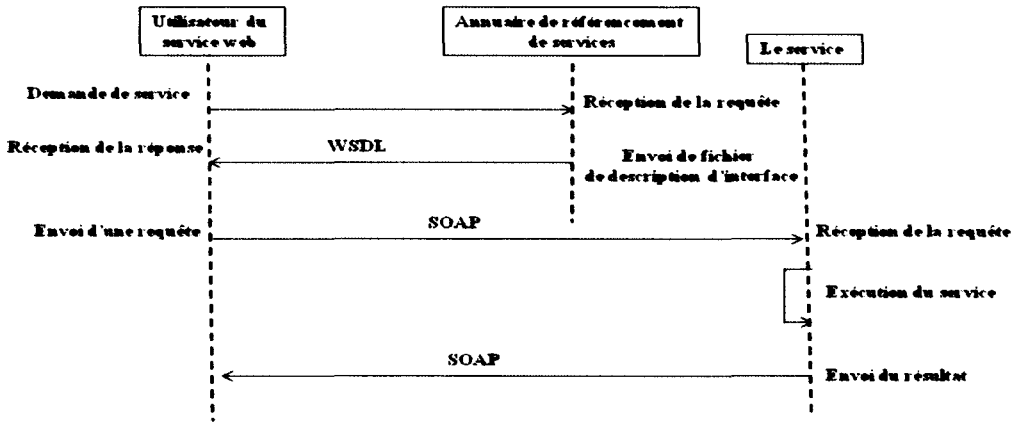

Figure 2.10: Diagramme de séquence d'invocation de services

Originellement, les technologies des services web ont été conçues pour des communications entre systèmes informatiques ou applications : ce sont des services web orientés applications. Quand l'application visée est hautement interactive, on a besoin de services web orientés utilisateurs : il faut disposer d'accès à ces services web. Ceci a été la préoccupation et le travail d'un ensemble de sociétés et d'éditeurs tels que IBM, Epicentric (epicentric.com), regroupés sous l'égide du comité technique WSIA (Web Service Interactive Applications) au sein de

l'OASIS (Organisation for the Advancement of Structured Information Standards) donnant ainsi des services web orientés utilisateurs (avec interface utilisateur) et spécifiés pour deux usages possibles qui sont : (1) l'accès multi-canal des utilisateurs aux services web et (2) l'agrégation de services web sous une mise en page unique par un intermédiaire d'un canal de distribution (figure 2.11).

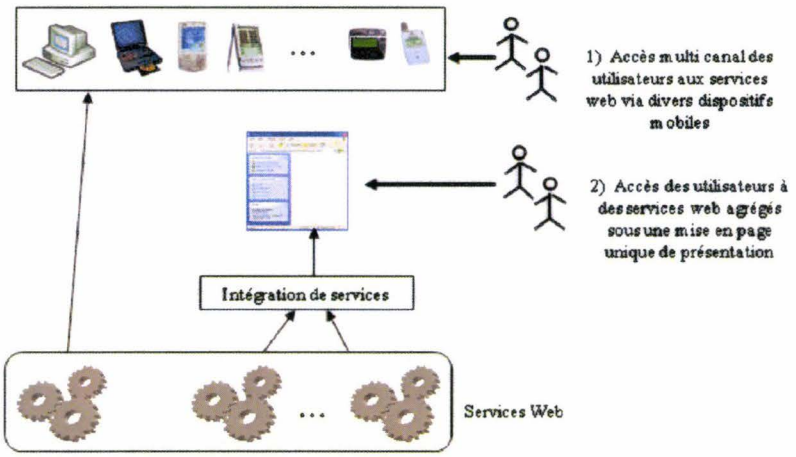

Figure 2.11 : Usages possibles de services web orientés utilisateurs

Dans une SOA basée sur les services web, une application Web est définie comme étant une application au travers d'un ou de plusieurs services Web chargés d'adapter la présentation de l'information au canal de distribution et aux profils des utilisateurs. L'objectif est que l'utilisateur final dispose de l'information dont il a besoin, quel que soit son mode d'accès, à travers un certain nombre de technologies web orientées utilisateurs dont les principales sont présentées dans la section III.2.

III.1. Applications composites

Une application composite est formée d'assemblage de services. C'est-à-dire qu'elle est constituée par un ensemble de composants qui concourent pour répondre aux besoins dédiés à une ligne métier ou une utilisation spécifique d'un système. D'un point de vue utilisateur, ceci correspond à l'assemblage des invocations de différents services métier pour construire un ou plusieurs processus métier fonctionnellement liés apportant une valeur ajoutée aux utilisateurs finaux via une IHM dédiée [Rivard *et al.*, 05]. Typiquement, dans une application composite, un composant présentation[16] (IHM, session utilisateur) s'appuie sur des composants de services de diverses natures [Raymond, 07]. Une application composite peut s'exposer à son tour sous forme d'un service. L'approche orientée services ne peut apporter sa valeur ajoutée aux utilisateurs finaux que via des applications composites (figure 2.12).

[16] Composant présentation : il pilote le dialogue entre les systèmes et les acteurs externes. Il assure la gestion de l'IHM et la maintenance du contexte session de l'utilisateur. C'est un composant de service dédié à l'interaction entre acteurs humains et le système.

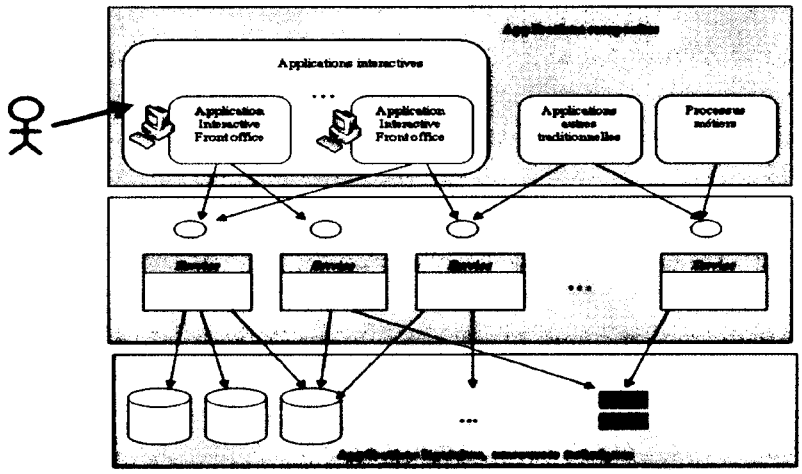

Figure 2.12. Applications composites dans architecture de référence SOA (source : [Fournier-Morel *et al.*, 06]).

Parmi les principales caractéristiques des applications composites on peut citer :

La composition interactive de services

L'architecture MVC (Model-View-Controler) [Reenskaug, 79] est l'architecture de référence des applications composites interactives. MVC permet d'isoler d'une part un modèle métier, d'autre part des vues rendues par un moteur graphique sur de l'information en provenance du modèle, et enfin des contrôleurs de dialogues. Néanmoins, avec l'approche SOA cette architecture MVC classique est revue de telle sorte que le modèle métier n'est plus local à l'application mais encapsulé dans un ou plusieurs services métiers et pouvant être déployés.

Les topologies de déploiement

Comme l'explique [Fournier-Morel *et al.*, 06]), il existe plusieurs topologies de déploiement des applications composites :

- *la topologie client lourd*, dans laquelle l'application composite (qui est composée du moteur graphique chargé du rendu de l'interface utilisateur, et du moteur d'exécution qui implémente la logique du service) est résidente côté client. Elle élabore les vues en local sur ce poste en appelant des services hébergés par le serveur ; dans ce cas, la communication client-serveur (services) peut se faire en utilisant un langage basé sur XML, soit reposer sur des technologies confinées à l'intérieur du Système d'information de l'entreprise (EJB, DCOM, etc.) (figure 2.13, (1)) ;

- *la topologie client léger*, dans laquelle l'application composite résidente sur le serveur, élabore les vues et les envoie à un moteur graphique distant (le navigateur web) en appelant ou utilisant des technologies des pages web dynamiques plus ou moins standardisées (jsp, jsf, struts, asp, asp.net, etc.) (figure 2.13, (2)) ;

- *la topologie client distant*, dans laquelle l'application composite devient un service, accédée par le client via un portail distant qui utilise un protocole de communication dédié pour dialoguer avec ce service. L'application composite transmet ses vues sous un format

standardisé permettant ainsi au portail distant d'agréger différentes vues fournies par ses propres applications locales et par l'application composite distante (figure 2.13, (3)).

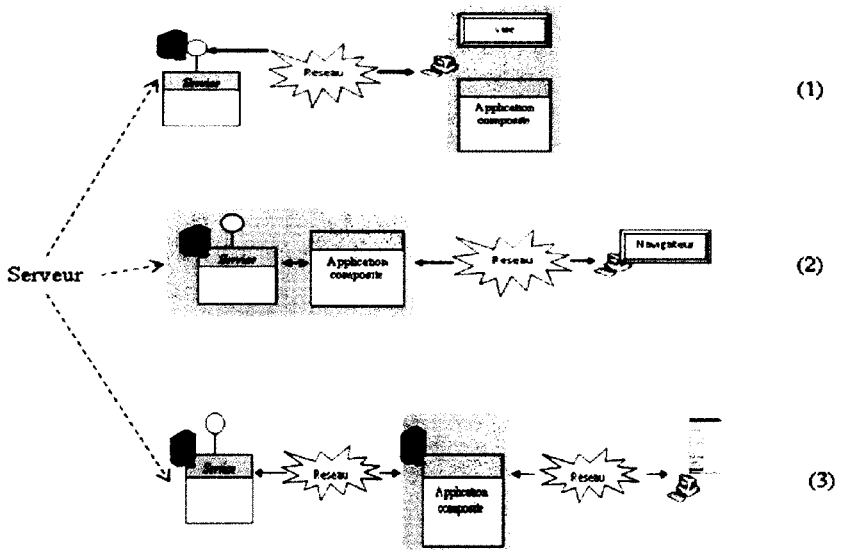

Figure 2.13 : Différentes topologies d'une application composite (source [Fournier-Morel *et al.*, 06])

III.2. Technologies de la couche interface utilisateur (IHM)

Les technologies de la couche interface utilisateur des services web concernent l'aspect présentation (côté utilisateur), de ces derniers. Les principales spécifications permettant d'intégrer les services web comme des composants à part entière des applications et donc à leur adjoindre une IHM (figure 2.14) sont les suivantes :

- WSXL (Web Service eXperience Language) [Arsanjani *et al.*, 02] est la spécification XML écrite par IBM, ayant pour objet la gestion, l'agrégation et la syndication des interfaces utilisateur des applications et des services Web pour l'utilisateur final. Elle s'inscrit dans le prolongement de modèles orientés objets des interfaces graphiques et s'est inspirée du modèle de référence MVC (Model, View, Controller), dans lequel les données (modèle), leurs vues (view) et les commandes utilisateur (Controller) sont séparées.

- WSUI (Web Service User Interface ; cf. www.wsui.org) permet de décrire : (1) la présentation des services Web à leur utilisateur via des instructions de mise en page des résultats des invocations de ces services ; (2) le modèle des interactions avec l'utilisateur. Il fait office de standard pour la définition d'interfaces utilisateurs relatives aux services web [Bazydlo *et al.*, 03]. WSUI et WSDL (Langage de description des services web) permettent de décrire, en utilisant XML, l'interface utilisateur et le fonctionnement d'un service Web. La proposition WSUI s'intéresse donc à la définition normalisée d'une interface utilisateur générique pour les services Web.

- WSIA (Web Services for Interactive Applications ; cf. www.oasis-open.org) est une spécification proposée par l'OASIS[17] et dont l'objectif est de fournir un modèle de composants d'interfaces basé sur XML et les services web pour consolider les travaux déjà engagés par IBM avec WSXL d'une part et les efforts engagés par Epicentric[18] avec WSUI d'autre part. WSIA constitue un modèle unifié des interactions avec les services web.

- WSRP (Web Service Remote Portal) [Schaeck et Thompson, 03] est une spécification WSRP proposée également par l'OASIS, qui concerne l'agrégation de contenus entre portails d'information en formalisant l'architecture de portlets[19] sous-jacentes à WSXL.

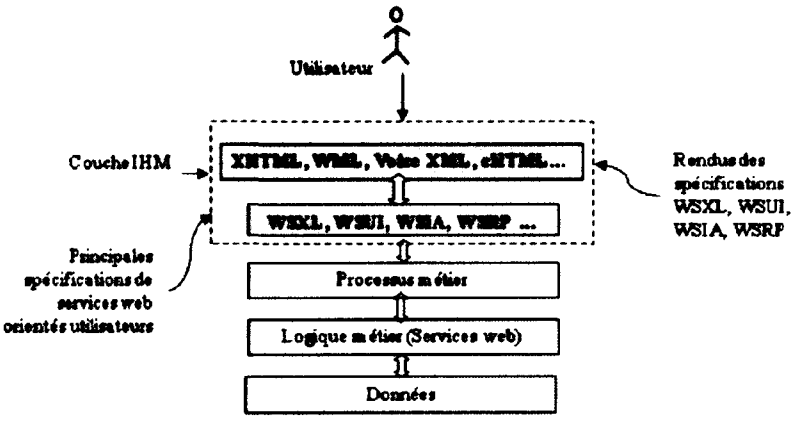

Figure 2.14. Positionnement des services web orientés IHM

Les Services Web pour Applications Interactives (WSIA) et Services Web pour Portails distants (WSRP) définissent une interface de service web pour accéder et interagir avec des web services orientés présentations interactives indépendamment des canaux de diffusion.

IV. Aspects méthodologiques liés à l'approche orientée service

Contrairement aux développements traditionnels d'applications interactives, dans cette approche, les processus métier, présentations d'information et contenus (écrans), logiques applicatives et données sont séparés dans des couches distinctes et faiblement couplées (figure 2.15).

Dans les développements traditionnels, les concepteurs envisagent le plus souvent différentes IHM si plusieurs applications sont prévues. En revanche, dans un développement d'applications orientées services dites "*applications SOA*", on ne se focalise qu'une seule fois sur l'IHM pour l'ensemble des applications en question. Par conséquent, le choix en amont d'une telle architecture va guider le processus dont les applications (et donc leurs IHM) vont être conçues,

[17] OASIS : Organization for the Advancement of Structured Information Standards, cf. www.oasis-open.org

[18] Epicentric : la technologie d'Epicentric a pour but de donner accès à des contenus ou des services applicatifs reposant sur des systèmes distants, et ceci en s'appuyant sur un moteur de règles de personnalisation ainsi qu'une couche de Web Services, c'est-à-dire des interfaces applicatives SOAP/WSDL.

[19] Portlet : module intégré à un portail d'entreprise, qui permet à l'utilisateur de disposer, dans la même fenêtre, d'un accès centralisé et convivial à différentes ressources (données, applications, sites Web, etc.), de modifier l'interface du portail selon ses besoins et de personnaliser ainsi son environnement de travail (source : http://www.journaldunet.com/encyclopedie/definition/398/51/20/portlet.shtml).

tant sur la manière de concevoir les composants et les services, que sur leurs interactions dans le cadre du système d'information global [De Gamma, 03].
L'approche orientée services est une approche organisationnelle des applications informatiques basée sur l'*émergence d'une couche de services* offrant une vue logique des traitements et données existant déjà ou à développer. Chaque service encapsule ses traitements et données et masque ainsi l'hétérogénéité du système d'information global [Fournier-Morel *et al.*, 06].

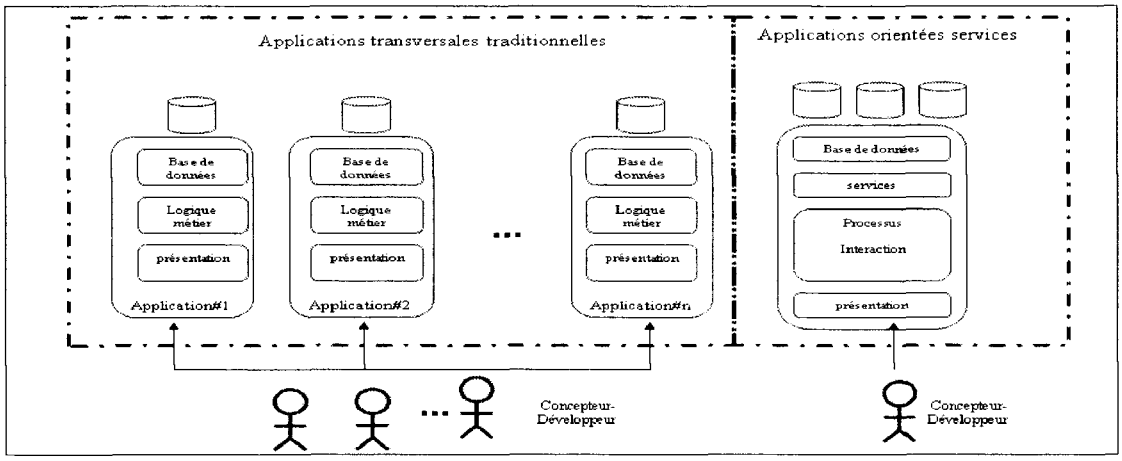

Figure 2.15 : Applications interactives traditionnelles vs. orientée services vue sous l'angle du concepteur-développeur (source : [De gamma, 03])

Dans cette section, il s'agit de considérer l'approche orientée service en regard des aspects méthodologiques tant au niveau conceptuel qu'organisationnel, pouvant faire office de piste à suivre en vue d'une démarche globale de spécification des IHM de supervision basée sur des services web. En d'autres termes, nous pouvons d'ores et déjà mettre en avant différents éléments méthodologiques généraux liés à l'approche orientée service et qui pourront être intégrées dans cette démarche. On peut citer notamment les éléments suivants :

Analyse et modélisation orientées services
Comme nous l'avons souligné précédemment, l'approche orientée services met en avant l'émergence d'une couche de services (figure 2.12). Ces derniers sont caractérisés par un ensemble d'éléments déjà évoqués comme par exemple : leur typologie (métier ou technique), leur granularité, leur condition d'utilisation (figure 2.3), leur orchestration et composition, leurs utilisateurs potentiels (figure 2.3), et leur présentation à l'utilisateur.
Par conséquent, en vue de la conception d'applications orientées services, il est nécessaire de considérer tous ces points soulevés ci-dessus. Ceci peut être traité lors d'une étape relative à la modélisation de services comme celles évoquées par exemple dans [Zimmerman *et al.*, 04] ou [Arsanjani, 04] où les différents services doivent être identifiés selon la valeur qu'ils délivrent au métier (utilisateur), spécifiés et puis réalisés.

L'analyse orientée services est donc le processus modélisant les domaines métiers visant une SOA. Ainsi, l'ensemble des services ou le modèle de service obtenu à l'issue de la phase de modélisation représente un nouvel artéfact (élément méthodologique) de cette approche.

Modélisation métier

Nous avons souligné aussi que la vision métier d'une organisation ou entreprise était une des motivations majeures d'une démarche orientée services. En effet, l'approche orientée services considère un processus métier comme étant un ensemble d'activités conçues en vue d'accomplir un objectif métier. Celui-ci (processus métier) peut s'étendre au delà des frontières ou limites d'une entreprise vers d'autres organisations. Ainsi, un processus métier transverse (traversant les limites d'un système en allant vers un autre) est un processus de bout en bout de l'entreprise délivrant une valeur ajoutée à l'extérieur par une collaboration de plusieurs unités et acteurs [Raymond, 07]. Ainsi, la prise en charge et le traitement de l'enchaînement (orchestration) et des règles métiers de gestion associées à un processus métier peuvent être aussi considérés lors d'une étape relative à la modélisation des processus métier.

Enfin, l'approche orientée service considérant un processus métier comme un ensemble de services et s'exécutant suivant une certaine orchestration, nécessite aussi une spécification adéquate en vue d'une automatisation de l'exécution du processus métier. Parmi les spécifications standards préconisées par l'approche on peut citer BPEL.

BPEL (Business Process Execution Language)

C'est une spécification d'IBM, Microsoft, et BEA. Elle remplace les précédentes spécifications XLANG de Microsoft, et WSFL (Web Services Flow Language) d'IBM [Leymann, 01 ; Chauvet, 02]. Elle permet de décrire la manière dont les services web peuvent être combinés et composés.

BPEL une spécification basée sur XML et constitue une couche supérieure au langage de description WSDL. Il soutient la technologie des services web en particulier, SOAP, WSDL, UDDI vues précédemment, en utilisant WSDL pour définir et décrire les opérations de services web élémentaires à appeler d'une part, et pour présenter un processus métier comme un nouveau service en composant les services web élémentaires.
La spécification BPEL présente un ensemble d'éléments permettant de considérer plusieurs aspects relatifs à l'exécution d'un processus métier. Elle spécifie notamment l'ordre de l'invocation des services web participants dans la composition.

Un processus métier implémentant une séquence d'opérations de services web correspond à un flux d'activités peut être spécifié en utilisant BPEL à l'aide de deux types d'activités : (1) l*es activités de base* ou *activités primitives* qui sont : la réception (*receive*) qui permet de bloquer l'exécution d'un processus jusqu'à l'arrivée d'un message correspondant à une opération ; l'appel à un service (*invoke*) et la réponse d'un service (*reply*) telle que chacune de ces deux activités effectue un envoi de message correspondant à une opération ; l'affectation (*assign*) qui associe une expression écrite en XPath (cf. http://www.w3.org/TR/xpath) ou XSLT (stylesheet language for XML, cf. http://www.w3.org/TR/xslt) à une variable ; l'attente (*wait*) qui permet de bloquer l'exécution d'un processus pour une période de temps fixée, etc. (2) l*es activités structurées* qui utilisent les activités de base pour décrire : des séquences ordonnées (*sequence*) pour imposer un ordre dans l'exécution, des exécutions en parallèle (*flow*) pour exécuter plusieurs activités en

parallèle, des branchements (*switch, if)* pour exprimer un branchement conditionnel, des boucles (*while*) pour exprimer des itérations, des chemins alternatifs (*pick*), etc.

Cette spécification intègre également un mécanisme de gestion des exceptions (*throw*, *catch*), ainsi qu'un mécanisme de compensation (*scope*) qui permet d'annuler une transaction dans son intégralité lorsque celle-ci échoue.

Des éléments supplémentaires sur la spécification sont donnés en annexe B. La spécification à travers ses principaux éléments caractéristiques évoqués ci-dessus est particulièrement intéressante à notre démarche de conception. Celle-ci permet d'apporter d'autres éléments sur lesquels nous nous appuierons dans le chapitre 4 afin de considérer la spécification de l'IHM d'un processus de supervision.

V. Conclusion

L'approche orientée services (SOA) offre un nouveau modèle permettant de construire des systèmes informatiques potentiellement hautement interactifs, évolutifs et rapidement adaptables. Ce modèle propose une nouvelle vision de la gestion des processus métiers, cœurs des SI, en simplifiant leur implémentation et en favorisant leur évolutivité par recours à des services [Fournier-Morel *et al.*, 06]. La démarche SOA propose des solutions pour répondre à l'exigence d'intégration des acteurs externes dans les processus métiers. Comme elle a l'avantage d'interfacer les processus métiers avec les applications en vue de nouvelles applications métier.

Cette approche permet ou pourrait permettre de diminuer les délais de développement de projets informatiques. Elle peut réduire en outre les coûts des systèmes ou logiciels en permettant une réutilisation des applications existantes.

SOA impose une réelle réflexion métier pour la définition des services, qui devrait en principe tenir compte de la stratégie de l'entreprise dans sa globalité.

L'approche orientée services correspond donc à une nouvelle approche de développement de systèmes, orientée vers les processus métier. Toutefois elle ne fait pas pour autant un lien direct avec les méthodes et modèles de développement classique de logiciels ; ou du moins peu de travaux de recherche existent ou sont publiés dans la littérature scientifique à ce sujet (en raison certainement en partie du fait que l'approche SOA est encore récente). Par conséquent, associer sur le plan méthodologique l'ingénierie de services prônée par SOA avec les méthodes et techniques standards de développement de logiciels et de modélisation de processus métier pourrait permettre d'aller dans le sens d'un cadre pour la conception d'IHM de supervision.

C'est pourquoi le troisième chapitre étudie un ensemble d'éléments méthodologiques qui serviront de briques de base pour la proposition d'un tel cadre dans le quatrième chapitre.

CHAPITRE III : PISTES MÉTHODOLOGIQUES EN VUE DE NOUVELLES APPROCHES DE CONCEPTION D'IHM DE SUPERVISION AVANCÉE

I. INTRODUCTION 51

II. APPROCHES DE DÉVELOPPEMENT 51
II.1. Approches séquentielles ou cascade 52
II.2. Approches itératives et incrémentale 53

III. PRÉSENTATION ET ÉTUDE CRITIQUE DES PRINCIPAUX MODÈLES ET MÉTHODES DE DÉVELOPPEMENT ISSUS DU GÉNIE LOGICIEL 54
III.1. Revue critique des principaux modèles de développement issus du GL 54
III.2. Revue critique des principales classes de méthodes d'analyse et de conception issues du GL 57
III.3. Synthèses et conclusions sur les modèles et méthodes classiques de développement 60

IV. PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT ISSUS DE LA COMMUNAUTÉ OBJET ET NOUVELLES TECHNOLOGIES 61
IV.1. Le processus unifié – UP et ses variantes 61
IV.2. Les méthodes agiles 64
IV.3. Synthèse sur les méthodologies objet et nouvelles technologies 67

V. MODÈLES DE DÉVELOPPEMENT ENRICHIS SOUS L'ANGLE DES INTERACTIONS HOMME MACHINE 68
V.1. Principaux modèles de développement enrichis sous l'angle de l'IHM 68
V.2. Étapes essentielles issues des modèles enrichis 72
V.3. Synthèse et Conclusions sur les modèles enrichis 80

VI. CONCLUSION 81

CHAPITRE III : PISTES MÉTHODOLOGIQUES EN VUE DE NOUVELLES APPROCHES DE CONCEPTION D'IHM DE SUPERVISION AVANCÉE

I. Introduction

Il existe de nombreux domaines d'application nécessitant la conception et la mise en œuvre de systèmes interactifs. Les systèmes de supervision par leur importance et leur place dans les entreprises hautement automatisées et informatisées, par leurs fonctionnalités inhérentes à l'évènement des sciences et technologies de l'information et de la communication, accessibles aussi bien à des opérateurs en salle de contrôle qu'aux opérateurs de terrain, équipes et organisations de travail, en sont un exemple. Avant de pouvoir proposer une démarche globale de conception d'IHM de supervision tenant compte de la nouvelle réalité technologique et économique dans laquelle évolue la supervision actuelle, dans ce chapitre, nous allons passer en revue un ensemble d'éléments et de notions liés à la conception logicielle, pouvant servir de pistes méthodologiques en vue de nouvelles approches de conception relatives aux IHM de supervision avancée.

Dans la première partie du chapitre, seront présentées les différentes caractéristiques (intérêt, avantages et inconvénients) des deux principales classes d'approches de développement dans lesquelles s'inscrivent la plupart des modèles et méthodes de conception de logiciel que nous décrivons succinctement en partie deux et auxquelles nous nous référerons tout au long du chapitre. Dans la troisième partie, sont présentés les principaux modèles et méthodes de développement issues de la communauté objet et nouvelles technologies afin de situer d'autres éléments pertinents pouvant être considérés dans une démarche de conception en rapport avec le domaine qui nous intéresse. Il s'agit ensuite dans la partie quatre de passer en revue les principaux modèles de développement enrichis sous l'angle des interactions homme-machine afin de positionner des notions inhérentes à une conception centrée utilisateur, à savoir l'analyse et la modélisation de système technique, et de tâches humaines, ainsi que l'analyse et la modélisation cognitive de l'utilisateur, ou encore l'évaluation des IHM.
Une conclusion générale termine ce chapitre qui se veut avant tout générique, tout en gardant en vue les interfaces utilisées dans le domaine de la supervision industrielle. Ces modèles, méthodes et approches sont globalement analysés selon la manière dont ils appréhendent implicitement ou explicitement les interactions Homme-Machine.

II. Approches de développement

Dans cette partie, il s'agit de dresser quelques orientations relatives à un projet afin de pouvoir choisir ou adopter une méthode la plus appropriée possible pour la conception et le développement de systèmes interactifs en général et de l'IHM en particulier, objet de notre mémoire. Notre première problématique ou préoccupation se situe donc à ce niveau. En effet un projet nécessitant un processus (ou ensemble de processus), une organisation et une logistique

spécifiques pour répondre aux besoins d'un groupe d'acteurs ou utilisateurs [source AFNOR[20]] se doit de suivre une démarche spécifique adaptée aux objectifs poursuivis [Vigner, 03]. En d'autres termes, il s'agit de démarches de projet relevant de la mise en œuvre de modèles et de méthodes qui combinés entre eux pourraient permettre d'aboutir à l'élaboration d'une *démarche adaptée au domaine qui nous intéresse*. C'est ce que nous recherchons à travers ce travail de recherche.

Dans notre cas, nous nous intéressons aux projets relatifs à des applications interactives de supervision au sens large à base de services web. Par conséquent, la première question qu'on se pose à ce niveau de la thèse est : quels sont les étapes principales et comment doit-on les combiner pour définir ou élaborer la démarche visée ? Sachant que l'élaboration d'une telle démarche doit tenir compte de certains critères et/ou objectifs relatifs à la nature et au type de projet comme par exemple : minimiser l'impact de l'évolution des besoins en cours du projet, soutenir le processus qualité et contenir les coûts et les risques du projet (ce que nous tenterons de développer en partie tout au long de ce chapitre). Actuellement, nous distinguons deux principales familles d'approches de développement : (1) les approches séquentielles ou en cascade et (2) les approches itératives et incrémentales ou évolutives ; elles sont présentées sommairement ci-après.

II.1. Approches séquentielles ou en cascade

Le principe de l'*approche séquentielle* de développement d'un projet appelée aussi en *cascade* décrit un processus de conception constitué d'une série d'étapes générales telles que : analyse, conception, codage, test et déploiement (selon les idées initiales de [Royce, 70] et [Boehm, 81]). Chaque activité composant une étape, telle que la collecte des besoins par exemple (voir plus loin), est considérée une seule fois uniquement et doit être terminée et vérifiée avant le début de l'étape suivante.

Le processus de développement en *cascade* débute par une phase de conception qui définit le projet dans sa globalité. Cette phase inclut typiquement l'analyse des besoins. Une fois la phase de conception arrêtée et achevée, la phase d'implémentation commence. Toutes les fonctionnalités définies et spécifiées dans la phase de conception sont implémentées. Elles sont intégrées dans un produit[21] fini et opérationnel. Finalement, le produit est testé et livré par la suite au client[22].

Dans les projets traditionnels où les caractéristiques sont définies *a priori* et où il est possible d'arrêter les spécifications, le processus cascade est le mieux indiqué. Quand le processus de développement cascade est adopté, la portée ou limite du projet devrait être définie tout à fait au début du cycle et ne pas être changée. En revanche, nous avons l'information nécessaire requise pour asseoir ou esquisser un planning et un budget réalistes. Le modèle cascade est donc le choix le plus efficace et économique si nous développons des systèmes bien définis dès le départ. En d'autres termes, pour les projets de petite taille, on préfère des démarches de type cascade basées sur la spécification des tâches qui tendent à contenir les risques et les coûts dans un enchaînement de phases qui reste simple et intuitif. Des exemples de modèles de démarche

[20] AFNOR : Association Française de NORmalisation, www.afnor.org
[21] Produit : terme général désignant l'objet du projet de développement.
[22] Client : terme général désignant l'utilisateur du produit.

cascade et leurs variantes existent et font l'objet en partie de la partie III où nous exposerons les principales caractéristiques des modèles les plus connus qu'on qualifie aussi de *classiques*. Cependant, ce n'est pas toujours le cas où nous avons affaire à des projets de ce type. Assez souvent, quand il s'agit de systèmes hautement interactifs, il est difficile voire impossible de définir la portée ou les limites d'un projet au départ. Dans cette situation, le modèle cascade n'est pas du tout recommandé ni approprié ; un autre type d'approche est alors nécessaire, objet de la section II.2. Par ailleurs, ce cycle de développement (cascade) n'intègre aucune recommandation orientée utilisateur et se montre peu adapté pour la conception d'application interactive. En effet les besoins concrets de l'utilisateur ne sont explicitement considérés que lors de la dernière étape, d'opérationnalisation comme nous le verrons dans la section III. De plus, une étape devant être complètement terminée avant le passage à la suivante, une évaluation intermédiaire ne permet pas de revenir sur les choix des étapes précédentes. Une évaluation de l'interface, pouvant au mieux intervenir lors de l'étape d'implémentation, ne permet de revenir sur l'analyse qu'en parcourant à l'envers toutes les étapes.

II.2. Approches itératives et incrémentales

Les approches *itératives et incrémentales* impliquent un *nombre de cycles courts* dans lesquels les étapes telles que : collecte des besoins, codage, test et déploiement sont conduites pour produire de petites parties du projet final (ici, il faut comprendre projet de conception de systèmes interactifs). Le système progresse incrémentalement et les retours d'expérience utilisateurs peuvent être utilisés tout au long du processus de développement.

Dans un projet dont la nature et la portée sont au départ du projet encore vagues ou imprédictibles, nous pouvons considérer soit un processus de développement *spirale ou incrémental* (de tels processus seront détaillés dans la partie III). Ces deux processus de développement sont d'une certaine manière similaires dans la mesure où les deux processus impliquent généralement une série de plusieurs itérations fréquentes du cycle : conception – implémentation – intégration. Dans un processus spirale, nous avons de *courtes itérations* du cycle dont plusieurs affinent les *mêmes caractéristiques plusieurs fois*. Tandis que dans le processus incrémental, nous avons aussi plusieurs itérations du cycle, mais chaque cycle implémente (considère) *différentes caractéristiques* que l'utilisateur sollicite ou voit appropriées.

Le processus spirale marche mieux avec des projets dont les portées et limites sont mal définies au départ, et il faut planifier continuellement, redéfinir et perfectionner des caractéristiques particulières tout le cours du projet. Par contre le processus incrémental est plus approprié pour les situations où nous avons quelques directions de projet, un objectif et un plan redéfinissant continuellement le produit en lui ajoutant différentes caractéristiques.

Les deux processus sont bien indiqués ou appropriés pour des projets novateurs par exemple, à forte composante technologique (ex. projets relatifs à la supervision basée sur le web), à partir du moment où les courtes itérations permettent aux membres de l'équipe projet de montrer rapidement aux utilisateurs les résultats des derniers changements (maquettage et ou évaluation : nous y reviendrons plus loin). Ceci permet un rapide feedback de la part des utilisateurs quant

aux succès de ces itérations à l'aide de maquettage par exemple et la direction des suivantes. Ces deux processus sont qualifiés aussi de démarches évolutives.
Pour des projets de grande taille ou complexes comme les projets de supervision (hautement interactifs), on préfère donc des démarches de type évolutives, basées sur la polyvalence et une approche pluridisciplinaire, qui tendent à minimiser l'impact de l'évolution des besoins en cours de projets en se rapprochant d'avantages des utilisateurs favorisant ainsi l'assurance qualité, l'utilité et l'utilisabilité[23] des applications interactives.
Des exemples de modèles de démarche de type évolutives existent ; nous exposons leurs principales caractéristiques dans la partie suivante.

III. Présentation et étude critique des principaux modèles et méthodes de développement issus du génie logiciel

Du domaine du Génie Logiciel sont issus des modèles de développement qualifiables de classiques, et fréquemment utilisés depuis parfois plus d'une vingtaine d'années sous leur forme originale, ou selon des variantes, tels que les modèles cascade, en V ou spirale. Dans cette section, nous présentons une revue critique des modèles et méthodes de conception existantes par rapport aux objectifs de conception que nous nous fixons ou recherchons en vue de nouvelles approches de conception d'IHM de supervision avancée.

III.1. Revue critique des principaux modèles de développement issus du GL

Modèle cascade

Le modèle en cascade, proposé par [Boehm, 81], est un des premiers modèles apparus pour répondre aux besoins industriels en termes de productivité et de qualité logicielle. Il représente une démarche descendante allant de la définition/spécification jusqu'à la réalisation (figure 3.1). Il définit une réalisation séquentielle des étapes du processus de développement avec des retours possibles uniquement vers l'étape précédente afin de prendre en compte les lacunes identifiées (vérification/validation). Les notions d'analyse et de modélisation des tâches utilisateurs sont considérées de manière très informelle et sont laissées à l'appréciation des concepteurs les plus expérimentés. L'aspect utilisateur n'intervient le plus souvent, implicitement, que dans les étapes finales d'évaluation du système réalisé. Le modèle ne prévoyant que des retours en arrière très restreints peut représenter un handicap pour une conception itérative et une évaluation précoce. Par ailleurs, il ne tient pas compte des changements éventuels des besoins utilisateurs.

[23] L'utilité peut être vue comme capacité de l'application ou de l'IHM à répondre aux besoins réels des utilisateurs, alors que l'utilisabilité peut être vue comme la facilité d'utilisation caractéristique des interfaces pour tout ce qui concerne la présentation et le dialogue (source : www.iergo.fr). Pour des descriptions plus précises de ces deux critères essentiels dans le domaine de l'interaction homme-machine, voir [Grudin, 92], [Nielsen, 93] ou [Bastien et Scapin, 01].

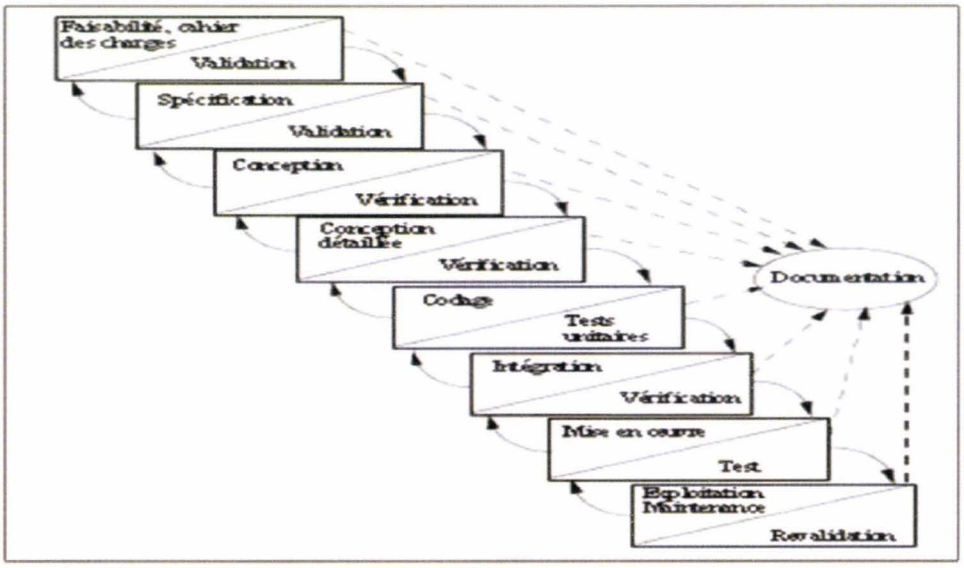

Figure 3.1 : Modèle cascade [Boehm, 81 ; 88]

Modèle en V

Le cycle en V proposé par Golberg [McDermid et Ripkin., 84] est un modèle séquentiel. Il est utilisé dans de nombreuses entreprises et préconisé par des organismes de promotion de la qualité industrielle. Il structure les étapes du cycle, qui restent globalement identiques à celles du modèle en cascade, en deux démarches (figure 3.2) : (i) descendante pour la spécification et la conception; (ii) ascendante pour les validations et les tests. Dans chaque phase de la démarche descendante doivent être prévus le plan, les moyens et les méthodes permettant d'évaluer et de valider les résultats de la phase. Ce souci de prévoir le plus en amont possible l'évaluation du système, et ceci précisément vis-à-vis de chaque phase, constitue un point fort indéniable du modèle en V. Par contre, ce modèle ne donne aucune indication sur l'aspect technologique ou technique du système ni la prise en charge des changements pouvant apparaître lors de l'expression des besoins. Différentes variantes de ce modèle existent [Thayer *et al.*, 93 ; Jaulent, 94 ; Laprie *et al.*, 95].

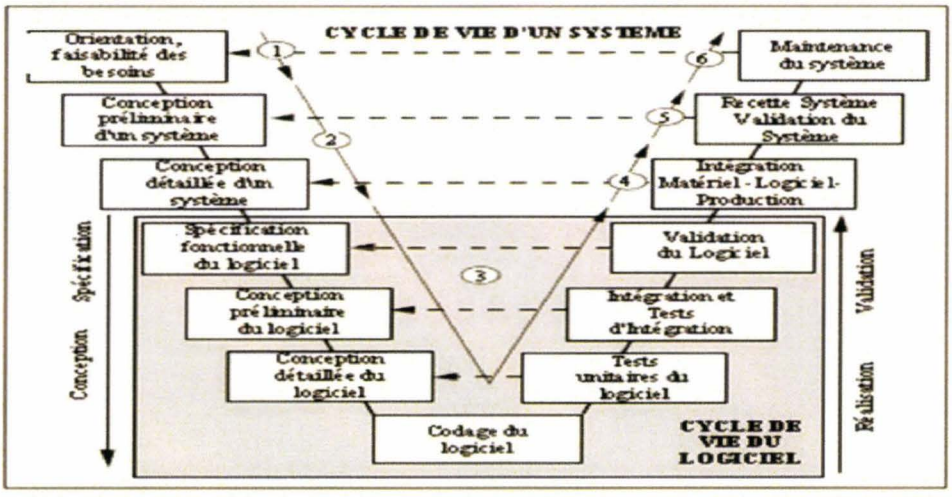

Figure 3.2 : Modèle en V

Modèle en W

Golberg a fait évoluer le cycle en V en y intégrant la notion de maquette. Il précise, dès le début du cycle en W, la spécification des interfaces et propose de vérifier immédiatement la cohérence avec l'expression du besoin (figure 3.3). Ce modèle est intéressant car vis-à-vis des modèles précédents il apporte de nouveaux éléments pertinents relatifs aux IHM à travers les notions de maquettes. Par ailleurs, il identifie explicitement la phase d'expression des besoins.

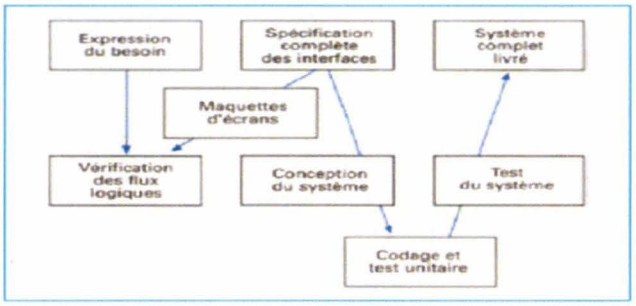

Figure 3.3 : Modèle en W

Modèle spirale

Le modèle spirale de [Boehm *et al.*, 84] traduit une évolution des modèles précédents par un cycle de développement récursif (itératif) à 4 phases : la détermination des objectifs, des choix et des contraintes ; l'analyse des risques et l'évaluation de la solution par création d'un prototype ; le développement et la vérification de la phase en cours et la planification des phases suivantes. Ce modèle est intéressant pour le développement de logiciels fortement interactifs étant donné que les besoins peuvent être formulés progressivement, et que les différents risques rencontrés sont analysés et résolus au fur et à mesure. Ceci présente l'avantage, contrairement aux modèles précédents, de procéder à l'élaboration détaillée d'éléments logiciels de moindre risque, tant que les éléments à haut risque n'ont pas été résolus.

Modèle par incréments

Il relève du même état d'esprit en termes de prototypage que le modèle spirale. En d'autres termes, à partir d'une phase donnée (généralement la conception architecturale) le processus est itéré plusieurs fois permettant ainsi à chaque fois la production d'incréments se rapprochant d'avantage du système final par adjonction de fonctionnalités, suite à l'expérience voire de l'utilisation de l'incrément précédent (figure 3.4).

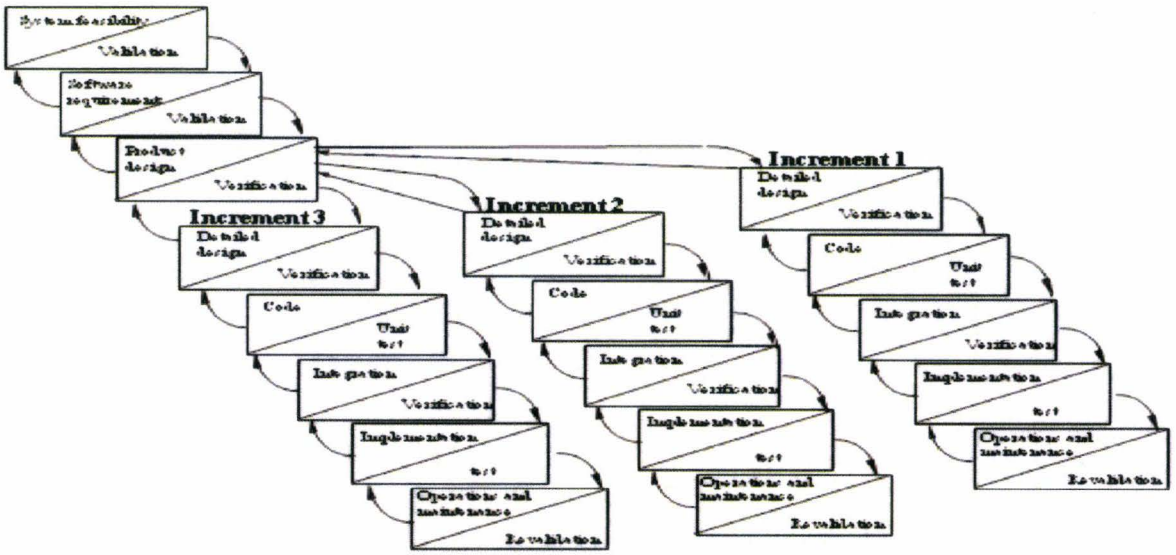

Figure 3.4 : Modèle par incréments [Boehm, 84]

La section suivante introduit les méthodes d'analyse et de conception issues du génie logiciel et en présente quelques unes.

III.2. Revue critique des principales classes de méthodes d'analyse et de conception issues du Génie Logiciel

Une méthode définit les informations à produire pour déclencher le processus de réalisation, le formalisme de présentation et les informations nécessaires au démarrage d'une tâche de conception [Silvestre *et al.*, 96]. Il existe de nombreuses méthodes en génie logiciel, qui peuvent être réparties par catégories[24] : cartésiennes, systémiques, orientées objet [Jaulent, 90], avec possibilité d'ajouter des méthodes de développement qualifiables de rapides. Dans cette section seulement quatre méthodes représentatives et caractéristiques vont être présentées afin de positionner leur utilisation dans le processus de conception.

Méthodes cartésiennes : exemple de SADT

Les méthodes cartésiennes ou analytiques mettent l'accent sur la démarche de conception qui décrit la manière de conduire et de dérouler le processus de conception. Elles recensent un ensemble de tâches à accomplir de manière ordonnée. Les méthodes cartésiennes correspondent à une approche fonctionnelle d'un système. En d'autres termes, celui-ci est abordé par les fonctions qu'il doit assurer, plutôt que par les données qu'il doit gérer ou traiter. Le rôle de cette catégorie de méthodes est d'aider le concepteur à passer d'une vision fonctionnelle globale à la description détaillée du processus de traitement qu'elle constitue.

[24] Notons que nous ne nous intéressons pas ici aux méthodes formelles telles que Z et B [Abrial, 96].

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) est une méthode créée en 1976 par D.T. Ross [Jaulent, 94]. Elle suit une approche cartésienne qui décrit un système de manière descendante selon différents niveaux d'abstraction, modulaire, hiérarchique et structurée, en couvrant essentiellement les phases d'expression des besoins, de spécification et de conception. Elle s'appuie sur un modèle spécifique composé de datagrammes décrivant la transformation des données et d'actigrammes décrivant l'enchaînement des activités. Le datagramme est modélisé par des « boîtes » replacées dans le contexte des activités. L'actigramme est modélisé aussi par des « boîtes » identifiées par une activité, un événement ou un verbe. Ce modèle est représenté par des boîtes avec quatre types de liens : entrées, sorties, contrôles et mécanismes.

L'ensemble des diagrammes est ordonné hiérarchiquement, avec au niveau le plus général, le diagramme de contexte. La méthode est basée sur un travail d'analyse orienté sur les flots de données qui permet de mettre en évidence les activités (figure 3.5).

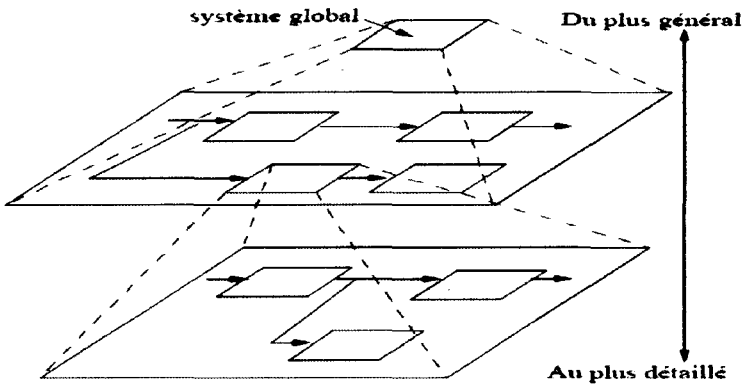

Figure 3.5 : Décomposition hiérarchique modulaire d'un système (La méthode SADT)

Méthodes systémiques : exemple de Merise

Merise est la plus connue des méthodes francophones appartenant à la catégorie des méthodes systémiques [Silvestre *et al.*, 96 ; Tardieu *et al.*, 83]. Un des points forts de Merise est de proposer trois niveaux avec des préoccupations complémentaires : (1) le niveau conceptuel comprend le modèle conceptuel de données et le modèle conceptuel des traitements, (2) le niveau logique (ou organisationnel) est représenté par le modèle logique des données et le modèle organisationnel des traitements, (3) le niveau physique (ou opérationnel) comprend le modèle physique des données et le modèle opérationnel des traitements.

Suivant cette méthode tout projet de développement informatique suit trois cycles : abstraction, décision et vie. Le cycle de vie permet de décrire la vie du système. Il distingue les périodes qui vont de la conception à la maintenance. Le cycle de décision concerne les différentes décisions et les choix qui sont effectués tout au long du cycle de vie. Le cycle d'abstraction offre les concepts pour pouvoir décrire les différents éléments du monde réel qui seront représentés dans le système d'information au sens de [Lemoigne, 77]. Merise a évolué au fur et à mesure des nouvelles technologies, par exemple en intégrant les notions objets dans une de ses versions récentes [Gabay, 01].

Méthodes orientées objets : exemple de UML

Les premiers langages objet sont apparus durant les années 70 et 80 (ex. Simula, SmallTalk, Eiffel) alors que les premières méthodes d'analyse orientée objet sont apparues plus tard, la plupart au début des années 90 ; on y dénombrait même, au milieu des années 90, plusieurs dizaines de méthodologies orientées objet. Elles se sont stabilisées autour de trois méthodes (OOM, OMT, OOSE) pour fusionner vers 1995-1997 dans un langage de modélisation objet unifié, UML (Unified Modelling Language, cf. www.uml.org) sous la coupe de l'OMG (Object Management Group, cf. www.omg.org).

En termes d'analyse et de modélisation objet, UML est aujourd'hui un standard, stabilisé, industriel (pris en charge par la plupart des outils de modélisation et de développement). UML est également de plus en plus utilisé par les maîtrises d'ouvrage pour spécifier fonctionnellement les cas d'utilisation d'une application, pour modéliser les processus métier. A travers les différents cas d'usage possibles, UML reste un langage formel de modélisation, mais n'est ni une méthodologie ni un processus de développement qui définit les étapes du processus, les acteurs, la démarche. En revanche, UML cadre l'analyse en proposant une démarche de modélisation basée sur l'élaboration itérative de modèles (figure 3.6).

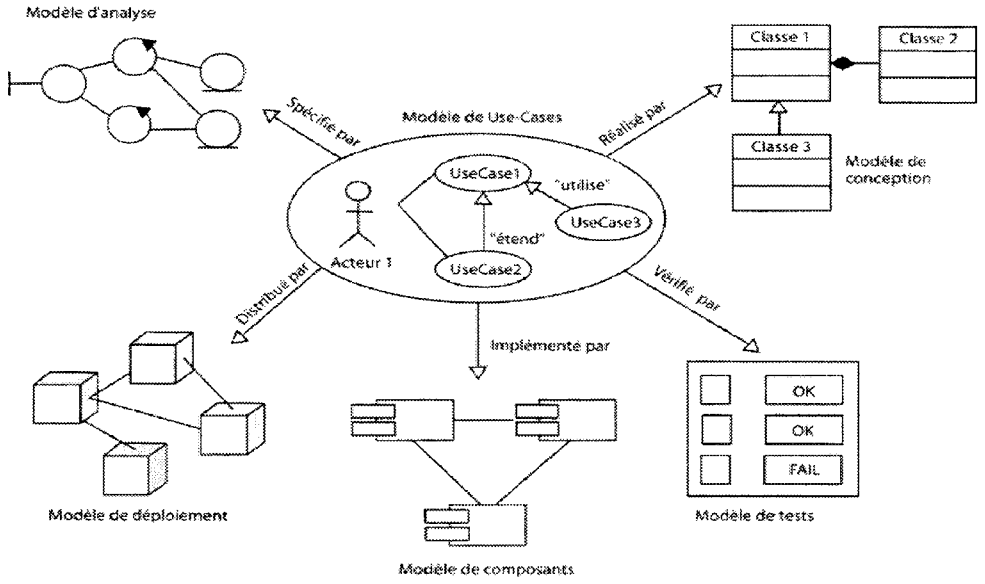

Figure 3.6 : Différents modèles UML, dans sa version 1 (source [Avignon *et al.*, 02])

RAD (Rapid Application Development)

RAD est une méthode de conduite de projet proposée par James Martin [James, 91]. Elle a été une des premières méthodologies à s'appuyer sur un cycle itératif de développement court basé sur 3 phases (Cadrage, Design et Construction) selon le principe visible en figure 3.7.

Elle permet un développement rapide d'une application tout en intégrant les utilisateurs avec des rôles opérationnels selon un ensemble de principes de base [Hugues *et al.*, 96] qui consistent à : (1) confier l'expression des besoins et les attentes du système aux utilisateurs, (2) aider les utilisateurs pour organiser les besoins tout en permettant des points de vue différents et contradictoires, (3) affiner progressivement les besoins pour prendre en compte les modifications dans le temps, (4) ajuster les besoins en adaptant le contenu du projet à la durée limitée du

développement, (5) travailler en session participative (utilisateurs, développeurs) intense et limitée dans le temps, etc.
Mais elle été critiquée pour son insuffisance de cadre dans la démarche (par exemple, itérations et affinement successifs des spécifications, sans que le nombre d'itérations soit fixé au départ). En revanche, elle est intéressante car elle prend en compte l'utilisateur tout au long du projet, et aussi mentionne la *réutilisation* comme principe permettant un développement plus rapide.

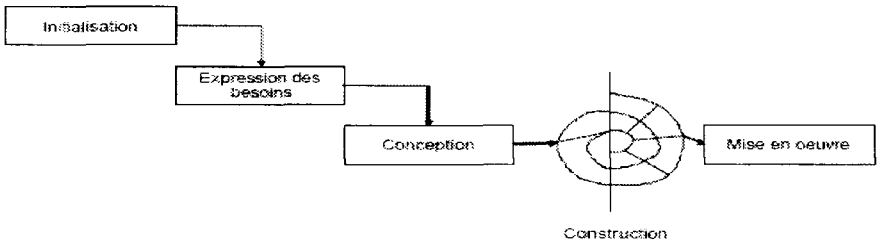

Figure 3.7 : Cycle de vie RAD

III.3. Synthèse et Conclusions sur les modèles et méthodes classiques de développement

Les modèles de développement classiques en génie logiciel sont très utiles lors du développement de logiciels. Mais, dès lors qu'il s'agit de développement d'un logiciel hautement interactif, ils présentent des lacunes et limites relatives aux aspects d'IHM. En effet, les interactions homme-machine sont laissées à l'appréciation du concepteur, les utilisateurs ne sont souvent pas concernés explicitement, les tâches humaines n'y sont pas citées. Par ailleurs, présents dans chaque méthode de génie logiciel, ils ne sont pas suffisamment incitatifs relativement à la prise en compte les facteurs humains du début à la fin du développement d'un logiciel. Par conséquent, il est important de s'orienter vers de nouveaux modèles pouvant y remédier. Il s'agit de modèles qualifiés d'enrichis sous l'angle des interactions Homme-Machine que nous aborderons dans la section V.

Pour ce qui est des méthodes issues de GL, l'utilisateur n'est pas systématiquement pris en compte du début à la fin. Les facteurs humains ne sont pas positionnés explicitement non plus. Par conséquent, il y a nécessité d'adaptation de ces méthodes par rapport aux IHM. Les méthodes présentées succinctement ont l'inconvénient de ne pas faire intervenir les utilisateurs explicitement. Il existe des travaux dans le domaine du génie logiciel ou des interactions Homme-Machine qui ont permis de mettre en évidence certaines lacunes de nombreuses méthodes [Pascot et Bernadas 93 ; Kolski, 97 ; Adam, 00 ; Kolski, 01 ; Abed, 01]. Les méthodes comparées par ces auteurs étaient nombreuses. Les bilans sortant de ces études montrent que ces méthodes n'exploitent pas la diversité des modèles de développement. En effet, elles sont décrites autour d'un cycle de développement unique (très souvent le modèle cascade d'ailleurs). Un autre constat concerne l'implication de l'utilisateur dans ces méthodes ; en effet, mises à part RAD, aucune méthode actuelle ne fait vraiment intervenir l'utilisateur du début à la fin du projet. D'une manière générale, l'utilisateur reste trop peu impliqué. Nous verrons dans les sections suivantes comment certaines d'entre elles ont été considérées en rapport avec le domaine qui nous intéresse et en intégrant notamment la dimension IHM.

IV. Modèles de développement issus de la communauté *objet et nouvelles technologies*

Dans cette partie sont présentés les principaux modèles représentatifs issus de la communauté *objet et nouvelles technologies* en vue de mettre en avant d'autres éléments pertinents non positionnés dans les modèles précédents et pouvant aussi être envisagés dans une démarche nouvelle de conception d'IHM de supervision avancée.

IV.1. Le processus unifié – UP et ses variantes

Le Processus Unifié (UP) est une méthode générique de développement couvrant plusieurs aspects d'un projet logiciel. C'est un processus de développement itératif et incrémental qui découpe un projet de développement en phases courtes à l'issue de chacune desquelles on livre une nouvelle version incrémentée du système ou logiciel.
C'est une démarche s'appuyant sur la modélisation UML pour la description de l'architecture du logiciel (fonctionnelle, logicielle et physique) et l'élaboration de cas d'utilisation permettant de décrire les besoins des utilisateurs. Elle est qualifié d'*unifiée* car il y a convergence entre, principalement, OMT, et les approches provenant de G. Booch et I. Jacobson. Aussi, elle prend en compte l'ensemble des intervenants dans le projet tels que : les clients, les utilisateurs, le gestionnaire [www.terrycros.net]. UP trouve ses origines en 1967 dans l'approche Ericsson initiée par Ivar Jacobson. En 1988, apparaît la première version de la méthode Objectory (« Object Factory »). A partir de 1995, les éléments des approches Rational Software et Objectory sont réunies dans le Rational Objectory Process. Enfin, ce processus évolue et change de nom en 1998 pour donner naissance au Rational Unified Process (le « RUP ») qui est un produit commercialisé par Rational Software (http://www.ibm.com/software/rational/). Le processus UP reprend les grands principes du RUP, essentiellement les phases, les critères, l'aspect technique (surtout analyse et conception).

Le Processus Unifié (UP) est un processus de développement logiciel : (1) itératif et incrémental, (2) centré sur l'architecture, (3) conduit par les cas d'utilisation et (4) piloté par les risques [Roques et vallée, 04] :

1. *Itératif et incrémental* : le système est construit et validé par étapes. Les modèles sont élaborés de plus en plus finement, par itérations successives et allers-retours, en s'appuyant sur des niveaux d'abstraction différents et de plus en plus fins [Avignon *et al.*, 02],
2. *Centré sur l'architecture* : tout système complexe doit être décomposé en parties modulaires afin de garantir une maintenance et une évolution facilitées. La méthode préconise que cette architecture (fonctionnelle, logique, matérielle, etc.) soit modélisée en UML et non pas seulement documentée en texte.
3. *Piloté par les risques* : les risques majeurs du projet doivent être identifiés au plus tôt mais surtout levés le plus rapidement possible. Les mesures à prendre dans ce cadre déterminent l'ordre des itérations. UP gère les risques de façon systématique et permanente ; la phase de pré-étude a pour but d'identifier les risques qui pourraient mettre le projet en péril. Tout au long du projet, il est recommandé de maintenir une liste de risques, issus de la phase de pré-étude, classés selon leurs dangers pour l'équipe afin d'avoir une vue plus explicite des choses.

4. *Conduit par les cas d'utilisation* : le projet est mené en tenant compte des besoins et des exigences des utilisateurs. Les cas d'utilisation du futur système sont identifiés, décrits avec précision et priorisés.

Les activités de développement sont définies par cinq disciplines fondamentales décrivant la capture des besoins et des exigences, l'analyse et la conception, l'implémentation, le test et le déploiement. La modélisation métier est une discipline amont optionnelle et transverse aux projets. Enfin, trois disciplines appelées de support complètent le tableau : gestion de projet, gestion du changement et de la configuration, ainsi que la mise à disposition d'un environnement complet de développement incluant aussi bien des outils informatiques que des documents et des guides méthodologiques (figure 3.8). Enfin, UP définit les activités essentielles et propose pour chacune d'elles, une liste d'intervenants (architectes, analystes, etc.) et une liste de tâches associées et qui sont décrites ci-après.

Pour l'expression des besoins, UP distingue deux types de modèles : modèle de domaine et modèle métier (business model). Le modèle métier représente une modélisation des procédures en vigueur dans l'entreprise et s'intéresse directement aux collaborateurs et à leurs divers travaux. C'est à partir de ce modèle que peut alors démarrer l'analyse des cas d'utilisation du système. Il s'agit de mieux connaître le domaine et ses activités avant de s'intéresser aux fonctionnalités du système par une étude par les cas d'utilisation. L'analyse consiste à comprendre et structurer le logiciel à développer en construisant une représentation interne du système sans trop tenir compte des exigences et contraintes de conception ; elle utilise le langage du développeur alors que l'expression des besoins se fait du point de vue utilisateur. La conception consiste à définir l'architecture du système. Elle trouve sa place dans toutes les phases, et est réalisée de manière incrémentale. En effet, dans une phase de pré-étude, elle consiste à maquetter l'architecture, tandis qu'en phase de construction, la conception devient beaucoup plus détaillée. L'implémentation consiste à créer les divers composants sources, scripts puis exécutables. Les tests se basent sur les cas d'utilisation.

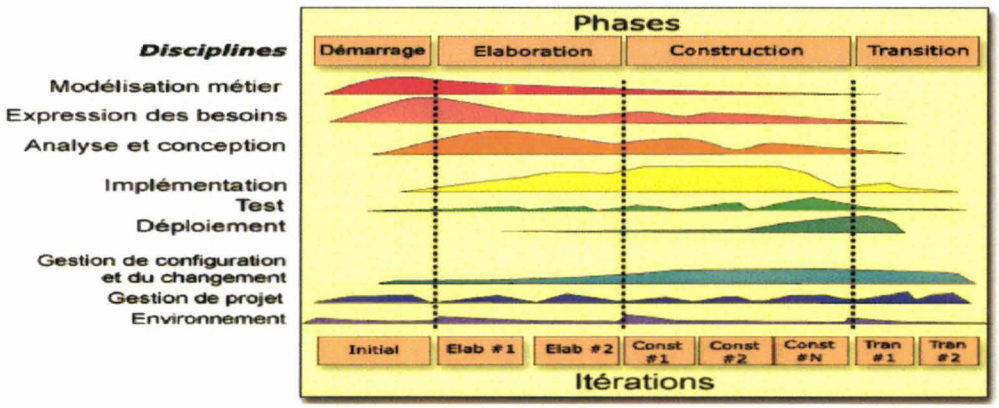

Figure 3.8 : Processus Unifié

Contrairement au processus en cascade ou en V considérant les phases de développement séquentielles, pour UP, une phase consiste en plusieurs itérations (figure 3.8) où les premières

itérations sont plus importantes par rapport aux autres, vu l'effort et l'investissement consentis dans la conception/analyse/exigences en vue de considérer les éléments pertinents relatifs à la phase en question. UP doit donc être compris comme une trame commune des meilleures pratiques de développement de logiciels [Roques et vallée, 04].

La gestion du cycle de vie du processus UP (figure 3.8) est organisée suivant les quatre phases suivantes :

(1) L'étude d'opportunité conduite lors de la première phase appelée aussi : phase d'initialisation, de création ou encore d'inception, consiste à définir la vision du projet, sa portée, sa faisabilité, son objectif métier, afin de pouvoir décider au mieux de sa poursuite ou de son arrêt. A l'issue de cette phase, il est établi un document donnant une vision globale des principales exigences, fonctionnalités clés et des contraintes majeures. Une petite partie des cas d'utilisation sont connus à l'issue de cette phase.
(2) La phase d'élaboration poursuit trois objectifs principaux en parallèle : (i) identifier et décrire la majeure partie des besoins utilisateurs, (ii) construire (et pas seulement décrire dans un document) l'architecture de base du système, (iii) lever les risques majeurs du projet.
(3) La phase de construction consiste à concevoir et implémenter l'ensemble des éléments opérationnels (autres que ceux de l'architecture de base). C'est la phase la plus consommatrice en ressources et en effort.
Enfin, (4) la phase de transition permet de faire passer l'application, des développeurs aux utilisateurs finaux. Ceci concerne par exemple la conversion des données, la formation utilisateurs, le déploiement, et enfin les béta-tests.
Par ailleurs, dans UP, chaque phase est elle-même décomposée séquentiellement en itérations limitées dans le temps. Le résultat de chacune d'elles est une fonctionnalité testée, intégrée et exécutable. UP adopte le principe de l'approche itérative qui est fondé sur la croissance et l'affinement successifs d'un système par le biais d'itérations multiples ; feed-back et adaptation cycliques. Le système croît avec le temps de façon incrémentale, itération par itération.

Des variantes de UP existent dont les principales sont les suivantes :

Le *processus unifié de Rational* – RUP (www.rational.com) est un processus de développement "clé en main", proposé par Rational Software, et est modélisé (documenté) avec UML. Il offre un cadre méthodologique générique qui repose sur UML et la suite d'outils Rational.

Catalysis (www.catalysis.org) est une méthode de modélisation de l'architecture basée sur UML, orientée composants et développée par [D'Souza et Francis, 98]. En d'autres termes, c'est une méthodologie basée sur des standards pour un développement systématique de systèmes à base de composants et d'objets.

Extreme System Analysis (XSA) est une méthodologie permettant l'analyse de systèmes dans un environnement de développement orienté objet. Elle permet de livrer rapidement des modèles de systèmes pour la phase d'implémentation de projets [Jackowski, 02].

2TUP (2 Tracks Unified process) est un processus unifié de développement logiciel qui implémente le Processus Unifié pour apporter une réponse aux contraintes de changement continuel imposées aux systèmes d'informations des entreprises [Roques et Vallée, 04]. La caractéristique principale du 2TUP est que toute évolution imposée au système d'information peut se décomposer et se traiter parallèlement, suivant un axe fonctionnel et un axe technique (figure 3.9). A l'issue des évolutions du modèle fonctionnel et de l'architecture technique, la réalisation du système consiste à fusionner les résultats de ces deux branches du processus.

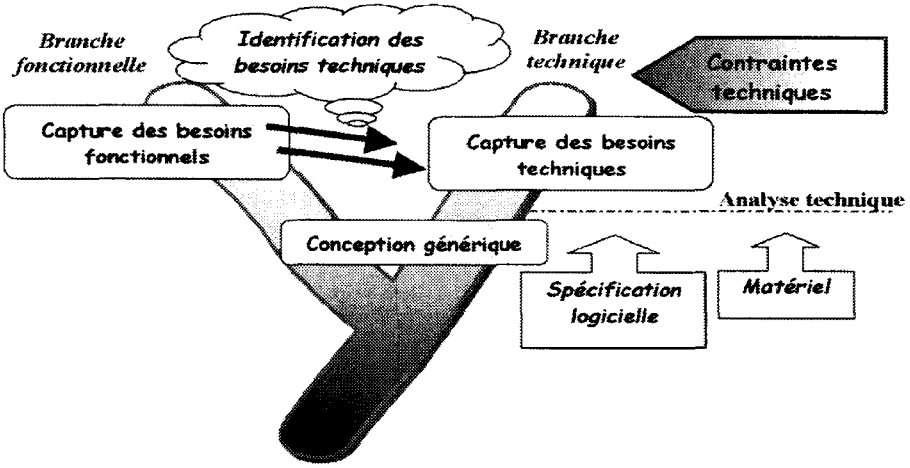

Figure 3.9: 2TUP - 2 Tracks Unified Process (source: [Roques et Vallée, 04])

IV.2. Les méthodes agiles

Les méthodes agiles sont des méthodes orientées nouvelles technologies. Ce sont des méthodes itératives à planification souple qui leur permettent de s'adapter à la fois aux changements de contexte et de spécifications du projet. Ces méthodes se déclinent sous forme de valeurs, de principes et de meilleures pratiques de développement dont nous présentons et décrivons ci-après les principales [Roques, 02].

Description

En 2001, l'Agile Alliance (http://www.agilealliance.org) mit au point le *manifeste agile* pour le développement agile d'applications énonçant des principes fondamentaux sur lesquels s'appuyer pour que le développement puisse se faire rapidement et s'adapter au changement [Beck *et al.*, 01]. Les objectifs principaux visés sont : (1) de donner la priorité aux personnes et aux interactions sur les procédures et les outils dans le projet, (2) de donner la priorité aux applications fonctionnelles sur une documentation pléthorique, (3) de donner la priorité à la collaboration avec le client sur la négociation de contrat, et (4) d'accepter le changement des besoins sur le suivi d'un plan fixé au préalable. Parmi les nombreux avantages de ces méthodes on peut citer : l'entreprise cliente contrôle toujours les fonctionnalités qu'elle souhaite développer par la suite, les bugs et les anomalies sont détectés plus tôt, ce qui rend leur résolution plus facile et moins onéreuse, les évaluations deviennent plus précises à mesure que les équipes de développement déterminent la vitesse à laquelle elles peuvent effectuer le travail, la communication et la collaboration sont très étroites entre les différents membres de l'équipe de projet afin de proposer le meilleur projet logiciel possible à travers une méthode participative.

Principales méthodes agiles

Il existe bon nombre de méthodes agiles. La plupart tentent de minimiser le risque en développant le logiciel en de courtes périodes appelées itérations. Chaque itération inclut toutes les tâches nécessaires pour réaliser un incrément minimal pour une *nouvelle fonctionnalité.*

Les principales méthodes agiles sont : *XP* ou *Extreme Programming* (http://www.extremeprogramming.org/) [Beck, 00], *DSDM* (Dynamic Software Development Method ; cf. www.dsdm.org), *AM* (Agile Modeling ; cf. www.agilemodeling.com), *ASD* (Adaptive Software Developement ; cf. www.adaptived.com), *Crystal* series (cf. www.crystalmethodologies.org ou [Cockburn, 02]), *FDD* (Feature Driven Developement ; cf. www.featuredrivendevelopement.com), *Lean development* [Poppendieck, 06], *Scrum* (cf. www.controlechaos.com ou [Cohn, 02 ; Schwaber et Beedle, 02]).

Dans ce qui suit, nous décrivons les plus représentatives afin de mettre en avant certains éléments pouvant faire l'objet d'intégration dans une démarche nouvelle de conception et de développement d'IHM de supervision avancée.

Extreme Programming – XP

XP est une méthode de développement centrée sur le code produit, visant la simplicité, le feed-back des utilisateurs, à travers des itérations de développement très courtes et travaillant en étroite collaboration avec les utilisateurs pour aboutir à un résultat [Beck, 03]. Elle consiste en un ensemble de bonnes pratiques de développement visant à remettre le développeur au centre du processus de développement.

XP est basé sur des principes essentiels qui se résument comme suit (www.design-up.com/methodes/XP/) : (1) *gestion des livraisons*, où l'équipe de développement fournit des livraisons fréquentes au client qui décide sur le contenu à partir des estimations fournies par les développeurs, (2) *gestion des itérations*, les livraisons sont effectuées en une suite d'itérations très courtes, au sein desquelles le projet est géré à un niveau de détail plus fin, (3) *suivi du projet*, pour lequel l'avancement du projet est mesuré de manière concrète par un ensemble de tests. Le rythme de progression est réévalué à chaque itération, et le plan de développement lui-même est revu fréquemment pour tirer parti de l'expérience acquise au cours du projet, *travail en équipe*, où le code est partagé par tous les développeurs travaillant systématiquement en binômes, et l'intégration est quasiment continue, etc. La figure 3.10 illustre le cycle de vie d'un projet XP.

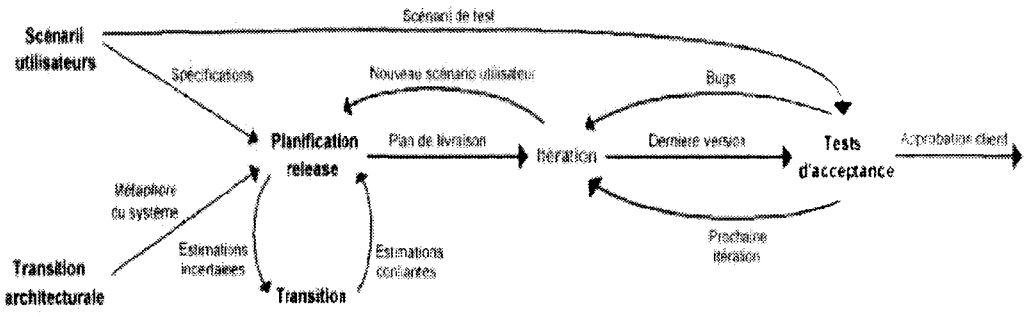

Figure 3.10 : Cycle de vie d'un projet XP (www.extremeprogramming.org)

Scrum (cf. http://www.controlchaos.com)

Dans la méthode Scrum [Krebs, 05], les projets progressent en une série d'itérations de longueurs mensuelles appelées *sprints* (figure 3.11). Les membres de l'équipe de développement rencontrent ou confrontent les clients et les utilisateurs avant chaque (période) sprint pour définir les priorités et les tâches à réaliser dans le sprint suivant. Durant cette période, les membres de l'équipe restent à l'écart des clients et des utilisateurs, mais en tenant de très brèves rencontres quotidiennes. A l'issue de chaque sprint, un nouvel incrément est livré.

Scrum est approprié aux projets aux fréquents besoins changeant et émergeants tels que les projets web ou des développements pour de nouveaux marchés.

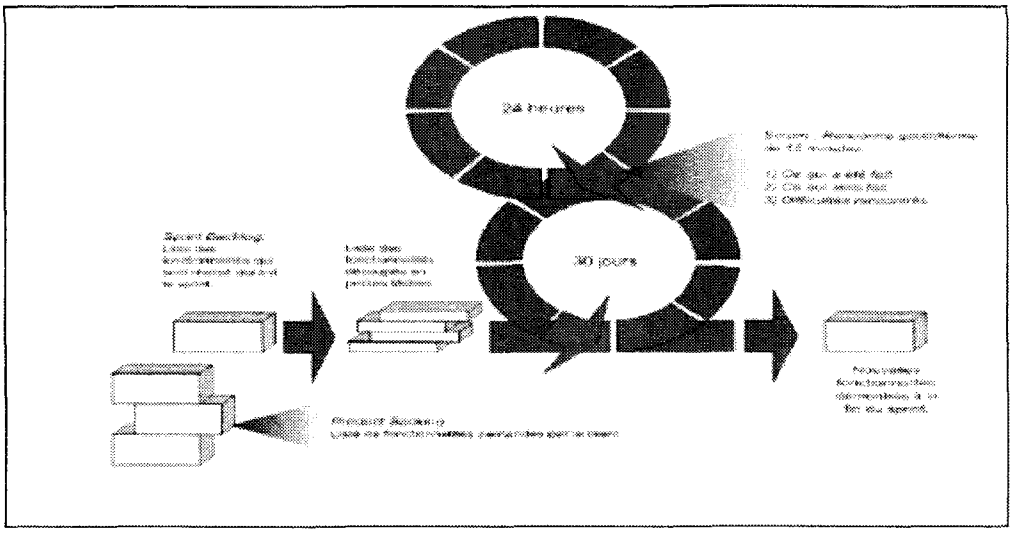

Figure 3.11 : Cycle de vie d'un Sprint [Krebs, 05]

DSDM (www.dsdm.org)

La méthode DSDM (Dynamic Software Development Method) est apparue en 1994. Elle propose une approche globale du développement de logiciel dans un environnement de développement rapide. De nombreuses méthodes de développement de logiciels se concentrent uniquement sur une activité, telle que l'analyse et la conception ou la gestion de projet. Par contre, DSDM fournit un canevas couvrant l'ensemble du cycle de développement afin d'assurer le succès du projet (selon : businessinteractif.fr). Elle base ses principes fondamentaux sur : l'implication active des utilisateurs, le pouvoir de décision des équipes DSDM, la livraison fréquente de produits dont l'adéquation aux besoins en est le critère essentiel. Par ailleurs, la méthode utilise un développement itératif et incrémental pour obtenir une solution adaptée aux besoins : toutes les modifications effectuées au cours du développement sont réversibles, les besoins sont définis à un niveau global (niveau de spécification élevé) et les tests sont intégrés à toutes les étapes du cycle de vie, etc. La figure 3.12 illustre le cycle de vie d'un projet DSDM.

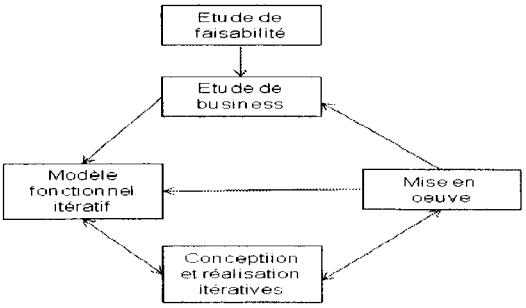

Figure 3.12 : Cycle de vie d'un projet DSDM

IV.3. Synthèse sur les modèles de développement issus de la communauté *objet et nouvelles technologies*

A l'issue de la description sommaire de quelques modèles représentatifs issus de la communauté *objet et nouvelles technologies*, nous constatons qu'ils proposent tous de travailler de façon itérative, que ce soit au niveau des plannings, des spécifications, ou des développements permettant ainsi de réduire la complexité de réalisation des phases, en travaillant par approches successives et incrémentales. Par conséquent, Il est possible de présenter rapidement aux utilisateurs des éléments de validation d'une part et d'avoir une gestion efficace des risques, en abordant dès les premières itérations, les points difficiles.

Au-delà de l'aspect itératif des développements prôné par ces modèles, on notera aussi que les méthodologies présentées mettent l'accent sur des phases projets différentes. En effet, le RUP couvre l'ensemble du processus en spécifiant les interactions entre chacune des phases, tandis que 2TUP fait une large place à l'analyse et à l'architecture.

Par conséquent, ces processus peuvent se compléter afin d'être utilisés dans une démarche spécifique et adaptée, devant être pilotée par les cas d'utilisation et produire des fonctionnalités coïncidant avec les besoins exprimés par l'utilisateur, nécessitant une collaboration étroite avec l'utilisateur.

Par ailleurs, à l'issue de la description des méthodes agiles nous relevons un certain nombre de points que nous jugeons essentiels pour la suite de ce mémoire. En effet, les méthodes agiles permettent d'accélérer les cycles de développement ; en particulier dans les approches comme XP et Scrum, il est recommandé une utilisation de peu de membres de développement mais avec de meilleures compétences et travaillant sur des tâches essentielles pour lesquels il s'agit de livrer des fonctionnalités au plus tôt.
L'écriture du code est une activité centrale dans un processus agile. Les processus agiles n'ont pas de phases distinctes pour le codage et les tests. Cependant, le code écrit durant une itération doit être testé et débuggé durant cette même itération. Les développeurs et testeurs travaillent assez étroitement ensemble plutôt dans un processus agile que dans d'autres processus de développement.

Les méthodes agiles sont utiles donc pour apporter et permettre une adaptation aux changements de contexte et aux modifications de spécifications intervenant pendant le processus de développement.

La section suivante présente plusieurs modèles et méthodes positionnant des notions inexistantes dans les approches décrites précédemment (classiques, objets et nouvelles technologies) en mettant l'accent sur les éléments caractéristiques et pertinents pouvant servir de pistes ou de supports afin de définir un cadre méthodologique global pour la conception des IHM de supervision comme par exemple, analyse et modélisation utilisateurs et tâches, évaluation sous l'angle ergonomique, etc.

V. Modèles de développement enrichis sous l'angle de l'interaction Homme-Machine

Les premiers modèles enrichis sous l'angle de l'IHM furent proposés dès la fin des années 1980. Ces propositions ne visaient pas à considérer l'utilisation de ces modèles d'un bout à l'autre d'un projet concernant la conception et la réalisation d'un système interactif. Mais l'idée principale était d'insister du point de vue méthodologique sur le positionnement des aspects fondamentaux en IHM et des étapes inexistantes dans les modèles classiques comme cela a été souligné auparavant.

V.1. Principaux modèles enrichis sous l'angle de l'IHM

PRODUSER (PROcess for Developing USER Interfaces) est un modèle proposé par M. G. James [James, 91], qui vise à adapter directement le modèle spirale au développement de systèmes interactifs en mettant l'accent sur leur prototypage (figure 3.13) permettant d'incorporer la gestion du risque dans son processus pour améliorer la qualité des interfaces utilisateur. Il peut être applicable à toutes tailles de projet et suffisamment flexible pour aider les équipes de projet qui ne désirent pas utiliser l'ensemble des capacités de ce processus. Le modèle propose un cycle de quatre parties : les besoins, les spécifications abstraites et les spécifications concrètes et l'évaluation et le contrôle du risque. Elles sont détaillées suivant les quatre plans : planification de l'étape, définitions des objectifs, alternatives et contraintes, évaluation des alternatives permettant de gérer le risque et développement et vérification.

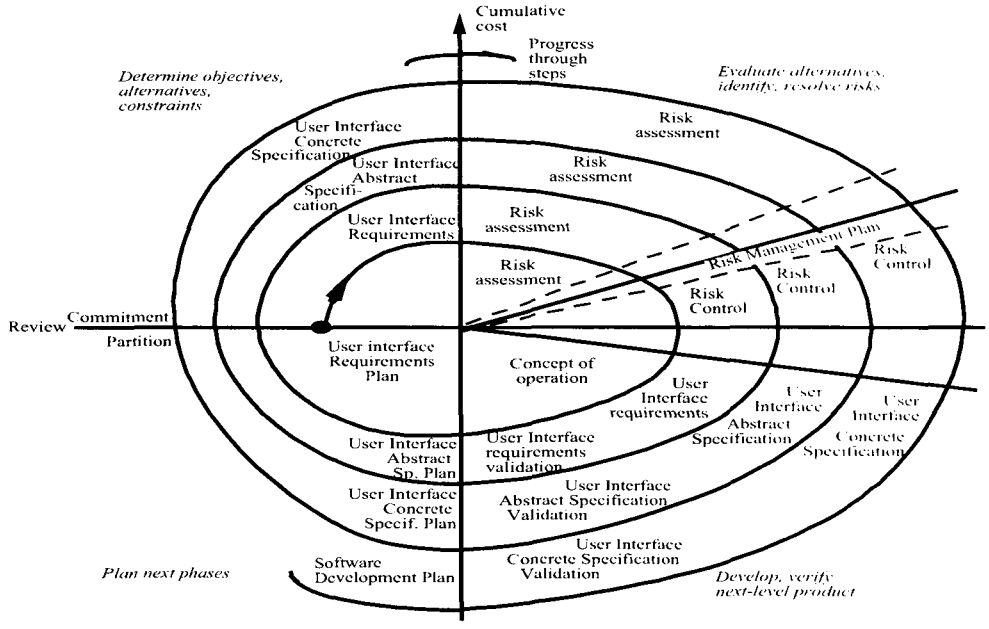

Figure 3.13 : Modèle PRODUSER [James, 91]

Le modèle proposé par [Valentin *et al*, 93] exprime aussi une démarche en spirale avec 2 parties exprimant chacune un ensemble d'étapes vues respectivement par les spécialistes de l'ingénierie (informaticiens, automaticiens...) et par les ergonomes (figure 3.14). Ce modèle met l'accent sur l'analyse des activités humaines.

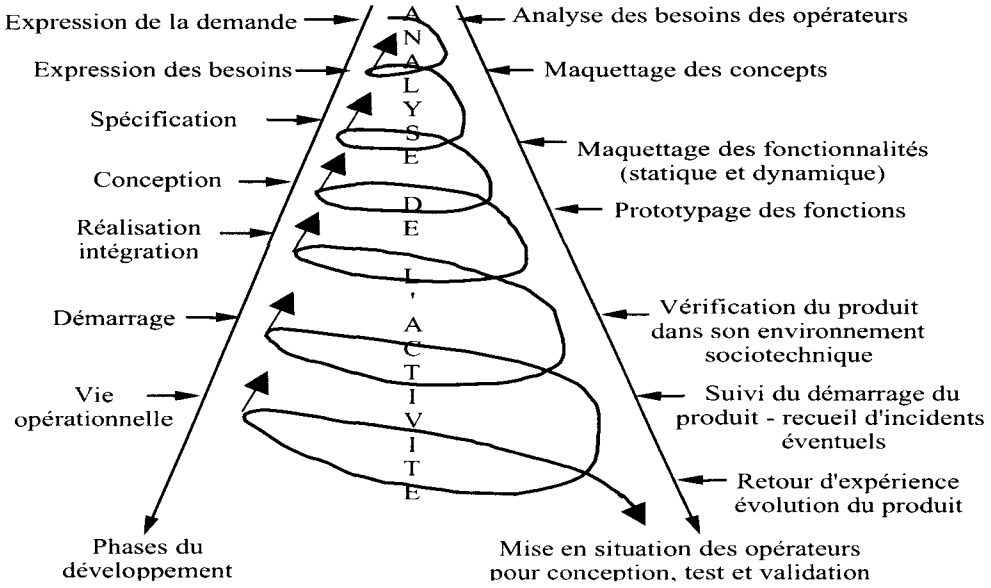

Figure 3.14 : Modèle de Valentin *et al.* [Valentin *et al*, 93]

Le modèle en *étoile* proposé par [Hix et Hartson, 93] situe l'évaluation au centre même du cycle complet, montrant ainsi des interactions/itérations possibles entre chacune des autres étapes (figure 3.15). L'étape d'évaluation est vue comme une étape intermédiaire permettant de protéger l'équipe de développement d'un rejet terminal ; d'autre part, il sous-entend une conception participative visant la détection précoce de problèmes d'utilisabilité, requérant une forte adhésion de l'utilisateur par cette implication centrale, donc permettant une évaluation précoce. Il n'impose pas *a priori* d'ordre dans l'accomplissement des étapes du processus, bien qu'en pratique les activités de développement soient reportées en fin de cycle.

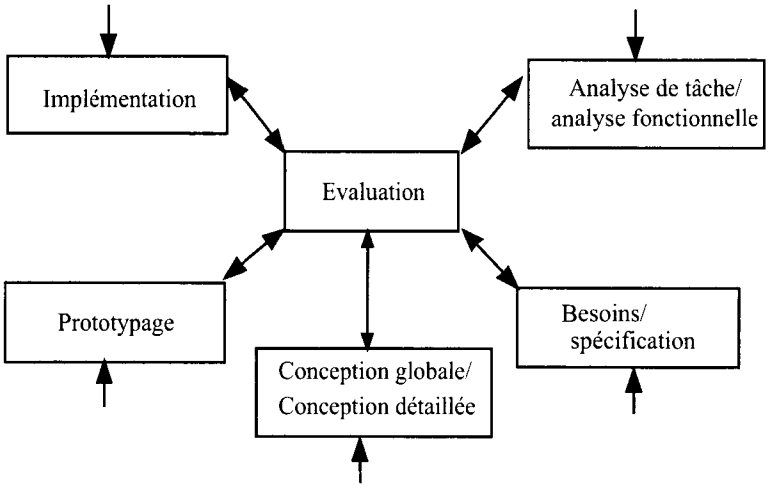

Figure 3.15 : Modèle en étoile [Hix et Hartson, 93]

Modèle de Curtis et Hefley

Le modèle de Curtis et Hefley [Curtis et Hefley, 94] considère deux aspects distincts dans le cycle de vie complet. Il situe distinctement les étapes de développement relatives aux interactions Homme-Machine (partie gauche) d'une part et celles relatives au logiciel/système (partie droite) d'autre part. Ces étapes sont situées par rapport aux phases de développement générales (figure 3.16).

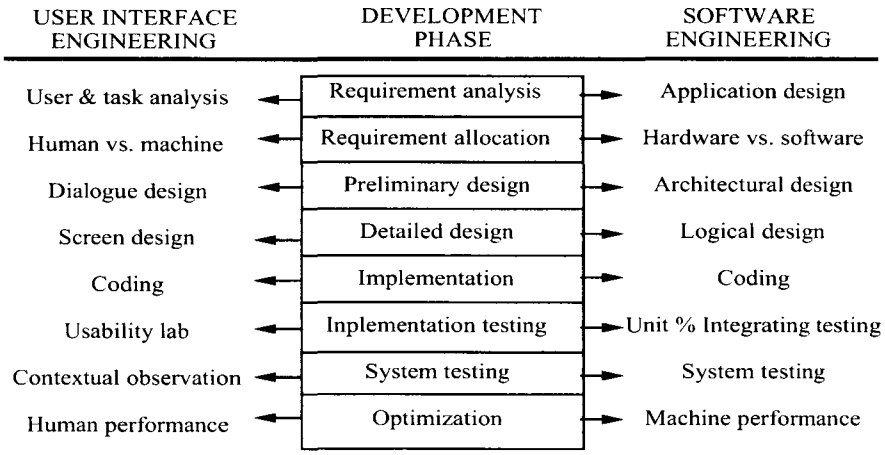

Figure 3.16 : Modèle de Curtis et Hefley

Le modèle V étendu

La première phase dans le modèle en V est révisée par [Coutaz *et al.*, 95], donnant ainsi un modèle étendu (figure 3.17). Il distingue l'espace de conception de l'IHM de celui relatif au logiciel tout en mettant en avant l'analyse des utilisateurs et des tâches. Par ailleurs, le modèle intègre aussi l'évaluation ergonomique. L'espace IHM inclut l'analyse des besoins, la conception et les tests du système et d'acceptation. Il faut noter l'apport de l'ergonomie pour l'analyse de tâches et la modélisation de l'utilisateur dans l'analyse des besoins d'une part et pour la définition et la spécification de l'interface utilisateur dans l'étape de conception d'autre part.

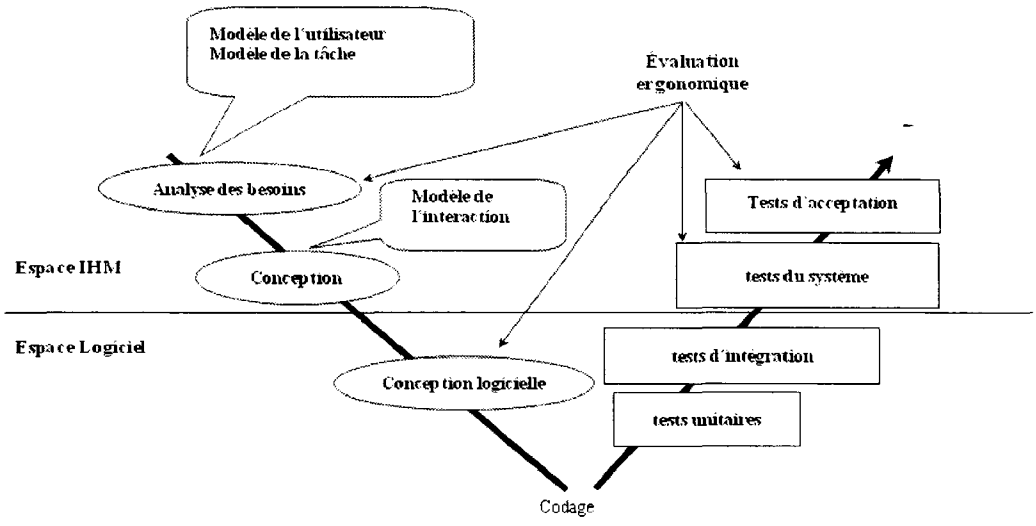

Figure 3.17 : Modèle en V adapté à la conception d'IHM [Coutaz *et al.*, 95]

Modèle Nabla

Le modèle ∇ (prononcer nabla) [Kolski, 95 ; Kolski, 97], construit selon un double cycle en V (figure 3.18), situe les différentes étapes du génie logiciel nécessaires pour développer un système interactif, tout en différenciant l'interface proprement dite (partie gauche du modèle) des modules d'aide (ou applicatifs) éventuellement accessibles à partir de ceux-ci (partie droite). Nabla se base sur une confrontation progressive entre un modèle réel et un modèle de référence, où le modèle de référence correspond à celui d'un système homme-machine dit idéal, en considérant les points de vue et besoins des différents intervenants concernés par le système homme-machine visé. Le résultat de cette confrontation conduit à identifier les données pertinentes pour spécifier un système interactif adapté aux besoins informationnels des utilisateurs, ainsi qu'aux besoins en mode de coopération utilisateur-modules d'aide.

L'ensemble des spécifications est ensuite évalué et validé d'un point de vue socio-ergonomique, afin de vérifier la pertinence de l'intégration des solutions nouvelles dans le système homme-machine visé. L'évaluation se situe au centre du projet suggérant une démarche itérative aussi bien dans les parties gauche que droite. Elle se termine par l'étape de recette qui se différencie symboliquement en une recette orientée interface et une recette orientée modules d'aide. Ceci suppose donc une démarche participative. En revanche il ne permet pas et ne propose pas une évaluation précoce malgré le rôle essentiel de l'évaluation.

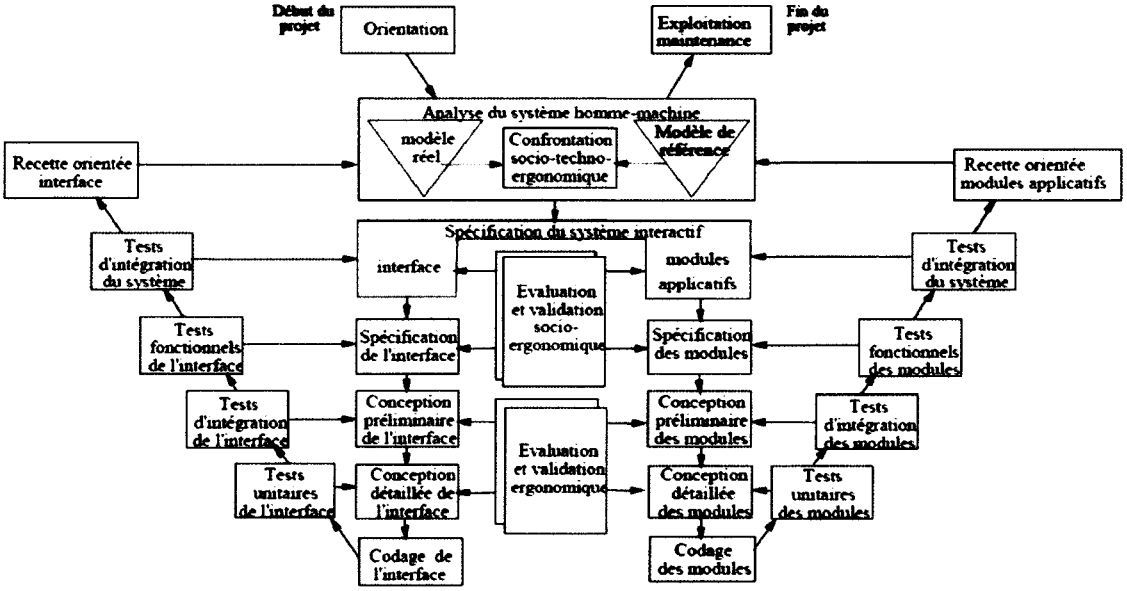

Figure 3.18 : Modèle Nabla∇

Modèle en U

Le modèle en U [Millot *et al.*, 91 ; Abed *et al.*, 91 ; Abed, 01 ; Lepreux *et al.*, 03] est structuré en deux phases : (i) une phase descendante de modélisation du système homme-machine, et qui aboutit à sa mise en œuvre, (ii) une phase ascendante qui consiste en l'évaluation du système global, selon des critères d'efficacité du système mais également des critères strictement humains. La validation consiste à confronter le modèle du système de la phase descendante avec

le modèle du système en phase ascendante. Le résultat de cette confrontation permet soit de valider le système homme-machine soit de mettre en évidence ses carences et à affiner progressivement celui-ci, particulièrement au niveau des interfaces homme-machine et des outils d'aide (figure 3.19).

Le modèle final résultant de la confrontation permet ainsi de généraliser des comportements spécifiques de l'homme dans des conditions particulières de travail, réutilisable dans des situations similaires. Par ailleurs, il positionne des étapes inexistantes dans les modèles classiques du génie logiciel, où les facteurs humains devront être considérés par l'équipe de développement.

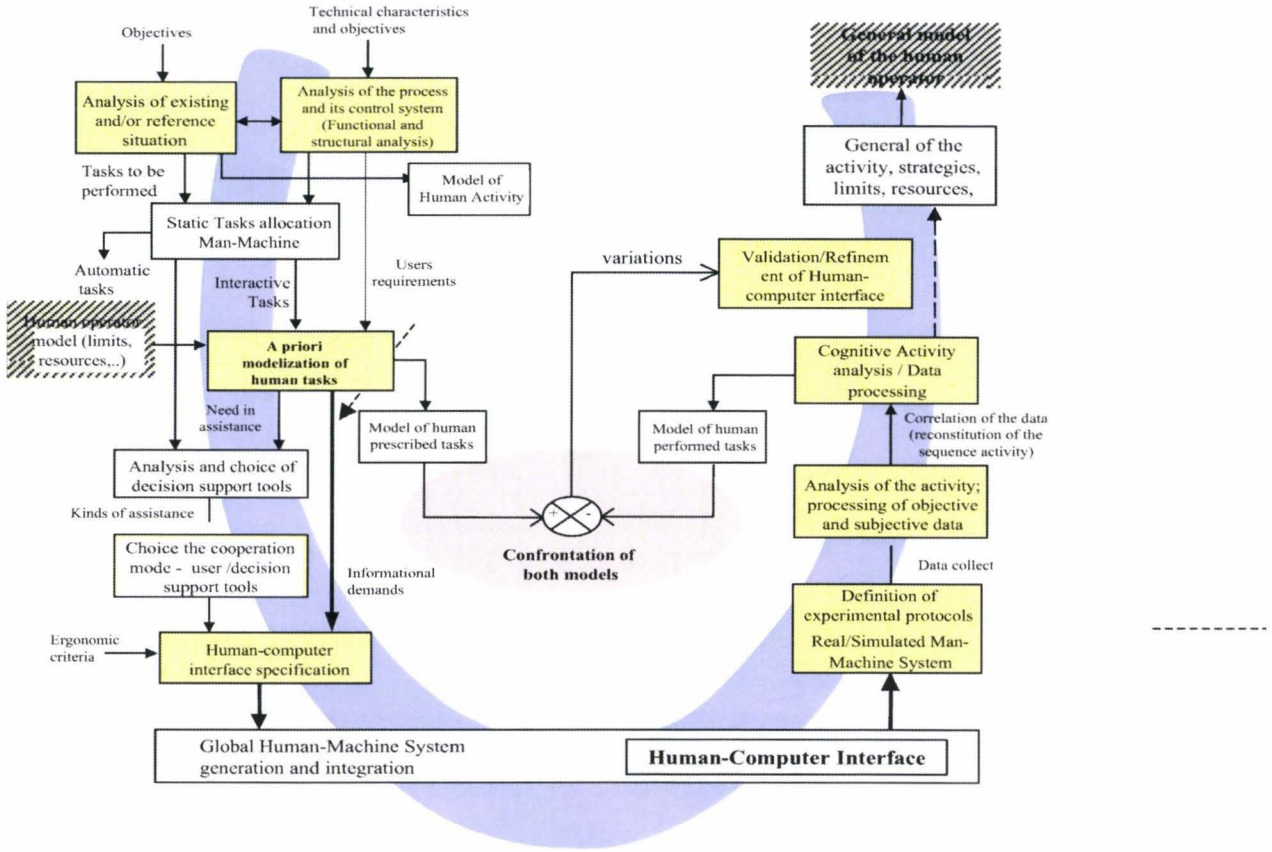

Figure 3.19 : Modèle en U (source : [Lepreux *et al.*, 03])

La section suivante présente certains apports relatifs aux interactions Homme-Machine mis en avant par les modèles enrichis et pouvant être envisagés ou intégrés dans des démarches centrées utilisateur.

V.2. Étapes essentielles issues des modèles enrichis

Des étapes essentielles ou éléments pertinents non positionnés dans les modèles classiques de GL et mis en avant dans les principaux modèles enrichis sont exposés ci-après.

Analyse et modélisation de systèmes en fonctionnement normal ou anormal

L'analyse et la modélisation de systèmes constituent une phase essentielle dans une démarche de conception et/ou évaluation de système Homme-Machine. Dans cette phase, il s'agit en effet de dégager le plus tôt possible les contraintes techniques (dynamique, sécuritaire, etc.) permettant à l'équipe de conception d'acquérir une connaissance sur le système technique. Cette phase peut s'appuyer sur un ensemble de méthodes d'analyse couramment utilisées en génie automatique, et/ou en sûreté des systèmes et/ou en génie logiciel [Kolski, 97].

On distingue deux types de méthodes : (1) des méthodes d'analyse du système en fonctionnement normal, (2) des méthodes d'analyse de système en fonctionnement anormal (dégradé). Nous donnons le principe des principales méthodes couramment utilisées.

Les méthodes d'analyse de systèmes en fonctionnement normal permettent de décrire et de comprendre le système sous l'angle structurel en identifiant les sous-systèmes, leurs interactions, les entrées/sorties, etc., et sous l'angle fonctionnel en identifiant principalement la fonction principale, les fonctions secondaires, les fonctions annexes, etc. Parmi ces méthodes, on peut citer entre autres d'après [Fadier, 90] : les diagrammes-Blocs, les Graphes de Fluence [Sinclair *et al.*, 65], SADT (Structured Analysis and Design Technique) [Ross *et al.*, 77], les arbres Fonctionnels, MERISE, FAST (Fonctionnel Analyse Système Technique), D.En (Direction des Engins), APTE (Application des Techniques d'Entreprise), ASA (Analyse Structurée pour Automate) et MFM (Multilevel Flow Modelling) [Lind, 81].

Les méthodes d'analyse de système en fonctionnement anormal ont pour objectifs principaux de : (1) recenser les modes de fonctionnement dégradé du système, par l'identification des différentes configurations susceptibles d'affecter sa mission, son intégrité, sa performance et son environnement (ces configurations prennent souvent la forme d'une liste de défaillances, associées à leurs combinaisons, leurs causes et leurs conséquences), (2) éliminer ou réduire la fréquence d'apparition de ces défaillances, ainsi que l'ampleur de leurs conséquences.
Parmi ces méthodes, on peut citer entre autres : Analyse Préliminaire des Risques, AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets, et Criticité), HAZOP (Analyse opératoire des dangers), les Arbres d'Évènements, les Arbres de défaillances, les Diagrammes Causes-Conséquences, les Graphes de Markov et les réseaux de Petri.
Par conséquent, à l'issue de l'analyse et de modélisation du système technique, les résultats obtenus serviront de base de travail et support de dialogue pour la mise en évidence des tâches humaines qui seront nécessaires vis-à-vis des différentes situations possibles, normales et anormales, et ceci pour l'ensemble des intervenants impliqués dans le système Homme-Machine (figure 3.20). En d'autres termes, ceux-ci représentent des apports en amont de la conception des applications interactives. L'analyse et la modélisation des tâches humaines font l'objet de la section suivante.

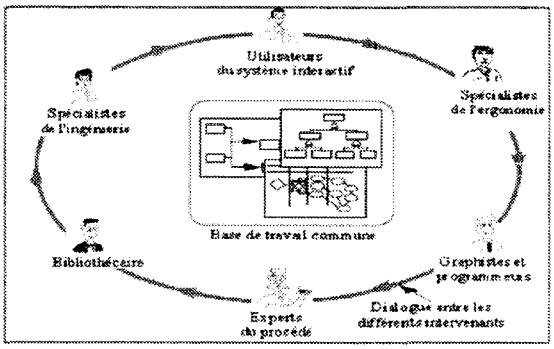

Figure 3.20 : Intervenants potentiellement impliqués dans le système homme-machine

Analyse et modélisation des tâches humaines

L'analyse des tâches humaines concerne l'étude sur la manière avec laquelle les utilisateurs humains accomplissent leurs tâches pour atteindre un objectif donné [Diaper et Stanton, 04]. L'analyse et modélisation des tâches humaines sont efficaces pour la collecte de besoins utilisateurs permettant de comprendre les utilisateurs et leur processus métiers [Coronado et Casey, 04]. Elle est utilisée dans l'analyse des besoins relativement à l'interface utilisateur. Comme elle sert aussi pour identifier quelles seront les fonctionnalités fournies par l'interface utilisateur du futur système.

L'objet de l'étude porte sur la tâche humaine en recueillant des données sur de nombreux aspects de celle-ci. Comme elle permet aussi de recueillir des données sur les humains/personnes/acteurs exécutant ces tâches puisque plusieurs aspects de la tâche dépendent directement du niveau de compétences de ces derniers. Par ailleurs, la conception centrée sur les tâches humaines a aussi des répercussions sur l'évaluation de l'IHM (cf. ci-dessous) par des utilisateurs représentatifs puisqu'il est important de leur soumettre des tâches qui ont une signification pour eux dans le cadre de leur activité et non pas des exercices qui se limitent à la manipulation des fonctions et des outils du système sans référence aux tâches [Richard, 83 ; Nielsen, 93].

Dans les processus itératifs, l'analyse de tâches peut se faire avant, pendant voire même après la conception d'un système fournissant de surcroit un support pour une évaluation ergonomique appropriée (précoce durant les premières étapes du cycle de vie). Le résultat de l'analyse et de la modélisation de tâches est ensuite exploité dans les étapes suivantes du processus de conception. Enfin, notons que l'analyse des tâches selon [Stammers *et al*,. 90] peut être conduite dans trois cas principaux (figure 3.21). Une analyse de la tâche peut être effectuée pour la mise à jour d'un système existant afin d'aboutir à un nouveau système (figure 3.21(a)). Lorsque le système à concevoir doit résulter de plusieurs systèmes déjà existants, de la modélisation de tâches effectuée au niveau de ces systèmes découle des informations réutilisables pour le nouveau système (figure 3.21(b)). Enfin, lorsque le nouveau système est entièrement à concevoir, et qu'il n'existe pas d'autres systèmes de référence, l'identification de nouvelles informations est essentielle et le modèle de tâches doit être conçu (figure 3.21(c)). Notons que les cas (a) et (b) correspondent parfaitement à l'esprit de l'approche orientée service à travers les notions de réutilisabilité et de systèmes légataires ou existants. En revanche, le cas (c) ne cadre pas

directement dans le principe de cette approche. Par conséquent, notre mémoire se situe plutôt dans les cas (a) et (b) comme le verrons ultérieurement.

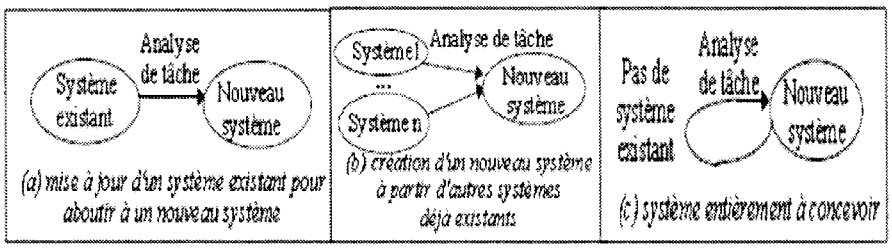

Figure 3.21 : Trois cas-types d'analyse de tâches selon [Stammers *et al.*, 90]

Par ailleurs, il existe plusieurs formalismes et méthodes de modélisation des tâches humaines qui peuvent être utilisés pour représenter des modèles de taches facilitant ainsi l'analyse des besoins informationnels et la spécification. Nous présentons ci-après quelques méthodes représentatives (pour des compléments, voir par exemple [Diaper et Stanton, 04]).

La méthode HTA (Hierarchical Task Analysis) [Annett et Duncan, 67] [Kirwan et Ainsworth, 92] repose sur une décomposition hiérarchique d'une tâche globale en sous-tâches. Ces sous-tâches sont elles-mêmes décomposées en sous-tâches. Ainsi chaque sous-tâche à effectuer et les informations nécessaires à présenter seront identifiées.

GOMS (Goal, Operator, Method, Selection) [Card *et al.*, 83] permet de modéliser le comportement d'un utilisateur à différents niveaux d'abstraction, depuis la tâche jusqu'aux actions physiques. La représentation de l'activité cognitive de l'utilisateur pour réaliser une tâche est définie à partir des quatre éléments suivants : (1) les buts (goals) organisés hiérarchiquement, (2) les opérateurs représentant les actions élémentaires, (3) les méthodes décrivant la manière d'atteindre un but et (4) les règles de sélection exprimant le choix d'une méthode. Des variantes de GOMS existent telles que : KLM [Card *et al.*, 83], NGOMSL [Kieras, 88] et CPM-GOMS [Gray *et al.*, 92].

DIANE [Barthet, 86 ; *88 ; 95] et MUSE*/JSD* [Lim *et al.*, 92 ; Lim et Long, 94] sont deux méthodes de conception d'applications interactives prenant en compte explicitement les facteurs humains, dans lesquelles l'analyse et la modélisation des tâches prennent une part importante, tout en prolongeant respectivement les méthodes MERISE [Tardieu *et al.*, 85 ; 91] et JSD (Jackson System Developement) [Jackson, 83]. La méthode DIANE a par ailleurs, fait l'objet d'extensions dans un but de génération automatique d'interface Homme-Machine : la méthode résultante s'appelle DIANE+ [Tarby, 93 ; Tarby *et al.*, 96 ; Tarby *et al.*, 01]. DIANE+ est une méthode centrée sur l'utilisateur et basée sur des concepts suffisamment abstraits pour être indépendante des évolutions technologiques. Elle est orientée vers la conception participative.

M.A.D (Méthode Analytique de Description des tâches) [Scapin et Golbreich, 89] vise la description de tâches humaines dans un but de meilleure prise en compte de l'ergonomie dans la conception d'interfaces Homme-Machine. Le formalisme MAD considère trois principaux concepts : tâche (simple ou élémentaire, composée), action (méthode associée à une tâche

simple) et structure (décrit l'agencement de tâches à l'aide de constructeurs : SEQuentiel, PARallèle, ALTernative, BOUCLE et FACultative). Elle a fait l'objet d'une évolution : MAD* [Scapin et Bastien, 01].

La Méthode basée sur SADT et les réseaux de Petri [Petri, 62] dans la modélisation des tâches humaines [Abed, 90] permet une décomposition hiérarchique descendante de plus en plus précise des tâches humaines. SADT modélise l'aspect statique de la tâche, par contre l'aspect dynamique est pris en charge par les réseaux de Petri. Elle est influencée par les méthodes cartésiennes et s'applique à l'analyse, à la spécification et à l'évaluation des systèmes interactifs.

La méthode des blocs de connaissance [Boy, 89] *est* issue de recherches en représentation des connaissances. Elle permet de représenter la connaissance opérationnelle d'un utilisateur d'un système sous forme de tâches. La structure globale des tâches constituée par les différents blocs de connaissances prend la forme d'un graphe orienté contrairement aux formes arborescentes des méthodes HTA et MAD.

ALG (Action Language Grammar) [Reisner, 81], *CLG (Command Language Grammar)* [Moran, 81], *TAG (Task-Action Grammar)* [Payne, 86], *UAN (User Action Notation)* [Hartson *et al.*, 89 ; Hartson et Gray, 92] sont des approches linguistiques pour la modélisation des tâches humaines (UAN allant jusqu'à la spécification). En d'autres termes, elles explicitent la structure de l'interaction Homme-Machine à l'aide de grammaires. ALG permet de modéliser les tâches utilisateurs à l'aide d'une grammaire (règles de production) hors contexte du type BNF (Backus-Naur Form). TAG utilise aussi la notion de règles où une description TAG comprend quatre ensembles : des commandes (correspondant à des actions primitives), des attributs, des tâches simples sans prise de décision et des règles de réécriture. CLG permet une description orientée tâche d'un système interactif selon plusieurs niveaux d'abstraction : tâche, sémantique, syntaxique et interaction. UAN est utilisée pour l'expression d'une IHM de type manipulation directe [Shneiderman, 87] où une description orientée action est effectuée à l'aide d'une notation spécifique.

TOOD [Mahfoudi, 97 ; Abed, 01 ; Tabary, 01] est une méthodologie de description orientée objet des tâches utilisateur pour la spécification et la conception des IHM. Elle est influencée par les méthodes objets et se base sur la transformation d'une série de modèles pour couvrir le cycle de développement, de l'analyse de la tâche à l'implémentation. Elle fait partie des méthodes à base de modèles (model-based development) [Szekely, 96]) et s'appuie sur un ensemble de modèles : (1) le modèle de la tâche et le modèle des objets issus de l'étape de spécification, (2) un modèle opérationnel, un modèle de l'utilisateur et un modèle local de l'interface dans l'étape de conception, et (3) un modèle d'implémentation dans celle de réalisation.

CTT (ConcurTask Trees) [Paterno, 00] est une notation basée sur des diagrammes hiérarchiques pour la description de modèles de tâches. CTT offre un ensemble d'opérateurs ayant chacun un sens précis issu principalement de la notation LOTOS (Language Of Temporel Ordering Specification) [ISO 1988] : ils servent à décrire des relations temporelles (la concurrence, l'interruption, la désactivation, etc.). Le concepteur peut ainsi représenter de façon concise les

évolutions possibles d'une session « utilisateur ». CTT possède aussi une notation graphique supportée par un outil de modélisation appelé CTTE (ConcurenTask Trees Environment) qui rend l'approche facilement utilisable.

Analyse et modélisation cognitive des utilisateurs

Il est essentiel de définir les profils des futurs types d'utilisateurs d'un système afin de disposer d'un référentiel à ce sujet [Robert, 03], en recueillant des données et informations pertinentes les concernant et servant de décision dans la conception du système interactif. L'analyse et la modélisation cognitive des utilisateurs peuvent être menées conjointement ou en s'appuyant sur certaines analyses considérées comme prépondérantes pour la conception de l'IHM. Il s'agit notamment des analyses portant sur le domaine d'application, les systèmes et les technologies, les contextes d'usage dans lesquels différents types d'utilisateurs auront un rôle à jouer. Chaque profil type identifié et défini correspond à un modèle utilisateur pouvant être pris en compte par l'équipe de conception.

L'analyse des utilisateurs peut intervenir à plusieurs moments dans la méthodologie de conception centrée utilisateur [Gould et Lewis, 85] : au début, lors de l'analyse de la situation actuelle, lors de l'analyse des tâches effectuées ; lors de l'analyse des problèmes actuels à résoudre ; lors de la définition des nouveaux profils d'utilisateurs ; lors des études sur la ré-ingénierie du travail, où l'on prend des décisions sur la future organisation du travail, le nombre d'opérateurs nécessaires, leur caractéristique, leur charge de travail, etc.

Il s'agit de l'étape où on doit recueillir des données sur l'utilisateur vis-à-vis des IHM et des outils d'aide, par exemple une classification par fonction (rôle), une typologie par rapport à chaque classe de tâche (novice, expérimenté, etc.) ou encore le niveau de formation, de connaissances, etc.

Par ailleurs, pour chaque classe de situation (normale ou anormale), il s'agit d'identifier les objectifs, les critères de décision et d'intervention considérés en priorité, les stratégies, etc. Une analyse fine, doit être effectuée par un spécialiste des facteurs humains afin d'aboutir à la construction d'une banque ou base de données incluant entres autres les limites et ressources cognitives des utilisateurs. Ainsi, tous ces aspects seront considérés lors des phases de la spécification et d'évaluation du système interactif devant être adapté au modèle de l'utilisateur [Robert, 03]. Pour ce faire, les spécialistes des facteurs humains peuvent s'appuyer sur les tentatives de modélisation humaine issues des sciences cognitives comme par exemple : (1) la théorie de l'action [Norman, 86] mettant en avant la notion de modèles conceptuels et expliquant la représentation mentale en termes de variables dites psychologiques (figure 3.22), (2) la résolution de problèmes à l'aide du modèle de Rasmussen [Rasmussen, 80 ; 86] identifiant trois types de comportements (basé sur l'entraînement, procédural, basé sur la connaissance), (3) le modèle de Hoc et Almaberti [Hoc et Almaberti, 95] correspondant au modèle de Rasmussen étendu sous l'angle temporel. Enfin, l'analyse et la modélisation des utilisateurs permettent aussi d'étudier les erreurs des utilisateurs [Reason, 90].

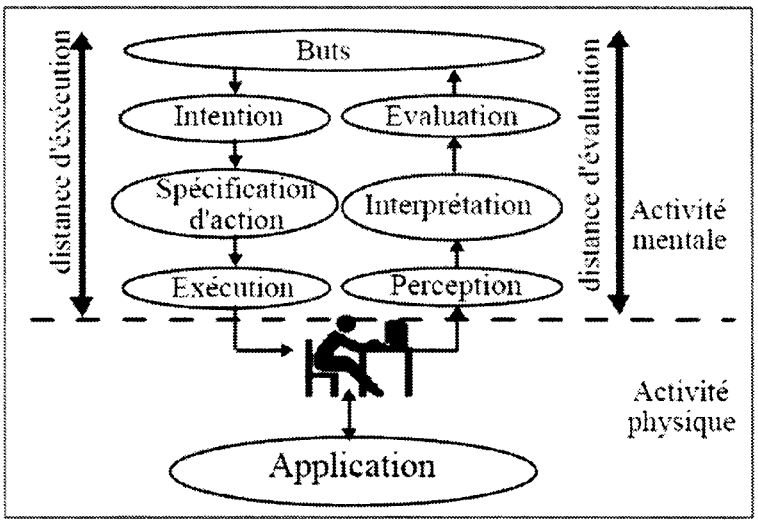

Figure 3.22 : Théorie de l'action [Norman, 86]

Couplage entre conception et évaluation sous l'angle ergonomique

Les modèles enrichis intègrent aussi le point de vue de l'ergonome concernant la place de l'évaluation vis-à-vis de l'analyse et la conception de l'IHM. En d'autres termes, il s'agit d'un couplage des méthodes ergonomiques aux méthodes du génie logiciel. Nous avons souligné auparavant que l'analyse et la modélisation des tâches fournissent une vue centrée utilisateur et permettent de décrire les tâches utilisateurs ainsi que la prise en compte de la charge cognitive de l'utilisateur et l'évaluation du modèle de taches résultat [Drouin *et al.*, 01]. Il s'agit d'appliquer des recommandations sur : la présentation des informations, l'organisation des fonctions à adapter à la logique de travail de l'utilisateur en intégrant des connaissances et des méthodes sur l'ergonomie pour mieux appréhender des situations de travail.

Plus particulièrement, l'ergonomie s'intéresse à la dynamique de l'activité (enchaînements d'actions, chemins suivis, passage entre fonctions, etc.) et à la logique d'utilisation (informations recherchées, comparées, etc.) qui permet de résoudre les objectifs de tâches projetées

Par ailleurs, l'évaluation ergonomique est utile lors de différentes phases du cycle de conception d'un système/logiciel, en particulier (figure 3.23) :

1. Définition des besoins : le rôle de l'évaluation ergonomique est de pouvoir valider une ébauche, une esquisse, une traduction des besoins recensés afin d'alimenter la réflexion sur la séparation entre le noyau fonctionnel et l'interface utilisateur d'une part et d'avoir une première réaction des utilisateurs sur l'orientation générale du système ou de l'IHM d'autre part. Ceci permet aux concepteurs informatiques d'avoir un retour critique sur leur représentation de la future application et d'orienter les phases suivantes de la conception. Il s'agit donc d'une évaluation précoce.
2. Conception générale et spécification : le rôle de l'évaluation ergonomique est de consolider les spécifications de l'interface puis d'évaluer les différentes propositions techniques.
3. Conception détaillée et recette d'interface : l'évaluation se fait en fin de cycle de développement afin, d'une part de vérifier que le logiciel fonctionne normalement sur le plan informatique, et de donner une appréciation détaillée sur l'utilité et l'utilisabilité de l'IHM.

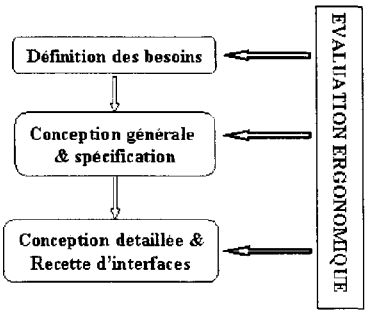

Figure 3.23 : Niveaux d'évaluation ergonomique

Enfin il faut souligner que l'ergonomie prône une logique d'utilisation plutôt qu'une logique de fonctionnement donnant ainsi aux futurs utilisateurs de l'IHM des moyens simples et adaptés à leurs objectifs de travail à travers deux types d'évaluation suivants :

(1) l'évaluation des scénarios consiste à construire une situation dans laquelle les utilisateurs développent l'activité cognitive la plus proche possible de la future situation, effectuer une observation et une analyse de cette activité en situations normales et anormales, puis se baser sur des éléments, outils et techniques pour formuler des propositions. L'évaluation est donc basée sur des scénarios correspondants à des objectifs de tâches représentatives du futur travail. Ces scénarios peuvent être décomposés en étapes intermédiaire (buts, sous-buts, conditions, etc.) en utilisant un formalisme tel que MAD ou CTT. Ici, il s'agit de préciser les modalités de travail avec le système, d'anticiper la dynamique de l'activité, les modes de dialogue et de navigation et les aspects de présentation [Drouin *et al.*, 01] ;

(2) l'évaluation de maquettes qui est une évaluation ergonomique. Elle consiste à simuler une future situation de travail avec des utilisateurs potentiels, pour vérifier l'adéquation d'un système informatique à un travail ou à un usage dans un contexte donné, d'où l'importance du maquettage pour une meilleure analyse des besoins et faciliter les évaluations précoces [Vanderdonckt et Coyette, 06]. Les résultats des évaluations des maquettes produites sont multiples : (i) elles mettent en évidence les aspects positifs et négatifs de l'interface aussi bien sur le plan de l'utilité que de l'utilisabilité, (ii) elles permettent de donner un diagnostic sur une interface existante dans le but de l'améliorer ou de réaliser une nouvelle version ou un portage de l'application ; enfin (iii) elles orientent les choix de logiciels par la possibilité de comparaison des différentes fonctionnalités et interfaces de dialogue proposées.

L'intervention de l'ergonomie dans une application permet de mettre l'utilisateur au centre du projet en participant à la conception, la réalisation et validation de l'interface utilisateur. Pour chacune des phases du projet, l'ergonome apporte ses méthodes et son savoir-faire concernant le facteur humain afin de participer et de valider l'étape en cours. Par ailleurs, l'intervention de l'ergonomie peut se faire : (1) en amont, l'étude de l'existant permet de situer le projet dans son contexte. L'analyse de l'activité réelle des utilisateurs permet de formaliser leurs besoins et d'intégrer les contraintes de leur environnement de travail, (2) lors de la conception, l'ergonomie peut aider à la conception de la structure et de l'organisation de l'application (ici on fait référence à l'IHM), en spécifiant par exemple les différents écrans et éléments de l'interface à

l'aide de maquettes (qu'il s'agit ensuite de spécifier à l'aide de services web) ; en participant à la réalisation afin d'adapter au mieux le projet aux utilisateurs.

Enfin, il s'agit de préciser que de nombreux documents recensent des méthodes et techniques utilisable pour l'évaluation des IHM, voir par exemple [Senach, 90], [Wilson et Corlett, 96], [Kolski, 97], [Bastien et Scapin, 01] ou [Jacko et Sears, 03].

V.3. Synthèse et conclusion sur les modèles enrichis

Les modèles présentés dans la section V.1 montrent les évolutions apportées par le domaine des IHM au génie logiciel. Parfois, les cycles présentés sont difficilement utilisables car ils ne sont pas suffisamment complets (comme le cycle Etoile) mais ils montrent le manque dans les modèles du génie logiciel. Ces modèles mettent l'accent sur des idées essentielles pour le développement de systèmes hautement interactifs comme par exemple : identifier clairement les activités pour les différents intervenants, placer l'évaluation au centre du processus, modéliser les activités humaines, les interfaces homme-machine et le système et enfin confronter les modélisations des activités à effectuer (identifiées au début du cycle) avec les modélisations de ces activités réelles en utilisant le nouveau système (identifiées en fin de cycle).
Néanmoins, ces modèles ne considèrent pas l'aspect du changement des besoins des utilisateurs qui pourraient se manifester au cours du projet de conception du système interactif. Ils n'abordent pas, donc, les aspects d'agilité de développement. Ils ont adopté généralement le principe du modèle en V et en cascade connus pour leurs phasages séquentiels donc rigides par opposition au processus itératif et incrémental comme nous l'avons souligné dans la section I.

Les modèles enrichis ne tiennent pas compte non plus des environnements d'évolution des utilisateurs et des technologies supportant ces environnements caractérisant l'hétérogénéité de ces derniers.
Concernant l'évaluation, même si elle est généralement présente dans ces modèles, elle est souvent effectuée à la fin de chaque étape ou à la fin de la construction du système interactif d'où le risque de rejet en cas d'inadéquation entre le système construit et les attentes et besoins des utilisateurs. Par conséquent, ils ne permettent pas toujours une évaluation précoce.

Les modèles enrichis considèrent aussi le développement du système interactif dans sa globalité par opposition aux fonctionnalités. Par ailleurs, dans tous les modèles enrichis, la vue métier est absente, vu qu'elle représente le contexte ou la portée des tâches exécutées par les utilisateurs ; ils ne donnent pas non plus de détails sur l'identification des rôles des membres de l'équipe de conception.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dressé un ensemble d'éléments pouvant nous servir comme pistes méthodologiques en vue de spécifier des IHM de supervision avancée. Dans la première partie du chapitre, nous avons mis en avant l'intérêt et les avantages d'un processus itératif et incrémental par rapport aux processus séquentiels. Ceux-ci permettent de réduire la complexité de réalisation des phases de conception en procédant par approches successives où il est possible

de présenter rapidement aux utilisateurs des éléments de validation permettant ainsi une évaluation précoce. Par ailleurs, un cycle itératif permet une gestion efficace des risques en abordant dès les premières itérations des points difficiles et critiques.

Dans la deuxième partie, nous avons vu que les principaux modèles de développement issus du génie logiciel peuvent offrir un cadre utile pour les concepteurs. En revanche, ils présentent des lacunes quand il s'agit de les appliquer au développement de systèmes hautement interactifs en général et en particulier pour les systèmes industriels complexes. Ceci a motivé l'apparition d'un autre cadre méthodologique positionnant des notions inexistantes dans les approches classiques (modèles et méthodes) comme par exemple, analyse et modélisation utilisateurs et tâches, évaluation sous l'angle ergonomique, etc. On a abouti aux modèles qualifiés d'enrichis présentés dans la section V.

La partie 3 du chapitre a recensé un ensemble de méthodes issues de la communauté *objet et nouvelles technologies*. Parmi *celles-ci*, le processus unifié en tant que méthode générique de développement de logiciels nécessite d'être adapté à chacun des projets pour lesquels il sera employé. Les méthodes agiles sont qualifiées aussi de méthodes adaptives : en d'autres termes, elles s'adaptent rapidement aux réalités changeantes, par contre les méthodes vues dans les parties précédentes insistent sur le planning du futur système en détail [Bénard, 01]. Les méthodes agiles partagent avec d'autres développements itératifs et incrémentaux le principe de construire des logiciels livrables dans des périodes courtes.

Parmi les points d'intérêt soulevés par les méthodes agiles, on peut citer le fait que le cycle de vie du logiciel peut consister à commencer par développer une première version (minimale), pour ensuite intégrer de nouvelles fonctionnalités selon un processus itératif ; celles-ci sont rajoutées au fur et à mesure des retours des avis des utilisateurs et des tests tout au long du cycle de développement.

Les méthodes agiles étant liées à l'instabilité de l'environnement technologique et au fait que les clients ou utilisateurs sont souvent dans l'incapacité de définir leurs besoins de manière exhaustive et claire dès le début du projet, elles nous semblent par conséquent indiquées dans le cas notamment du domaine objet de notre mémoire.

Enfin, les modèles présentés en partie 4 mettent l'accent sur des idées essentielles pour le développement de systèmes hautement interactifs. Néanmoins, ces modèles présentent certaines lacunes telles que : ils ne tiennent pas compte des environnements d'évolution des utilisateurs et des technologies supportant ces environnements. Ces derniers sont hétérogènes. Ils n'abordent pas, donc, les aspects d'agilité de développement ; ils adoptent généralement le principe du modèle en V ou en cascade connus pour leurs phasages séquentiels donc rigides par opposition au processus itératif et incrémental comme nous l'avons souligné au début.

Par ailleurs, l'évaluation, même si elle est généralement présente dans ces modèles, est souvent effectuée à la fin de chaque étape ou à la fin de la construction du système interactif d'où le

risque de rejet en cas d'inadéquation entre le système construit et les attentes et besoins des utilisateurs. Par conséquent, ils ne permettent pas toujours une évaluation précoce.

Les modèles enrichis considèrent aussi le développement du système interactif dans sa globalité par opposition aux fonctionnalités.

Pour conclure, à travers ce qui a été développé tout au long de ce chapitre, une nécessité ou un besoin d'articulation, entre différents types de modèles passés en revue, pour le développement de nouveaux systèmes interactifs, peut être clairement identifié et exprimé.

En conséquence, le chapitre 4 proposera un cadre méthodologique de conception d'IHM de supervision avancée exploitant différents principes des modèles de développement les plus représentatifs étudiés, adaptés au domaine qui nous intéresse dans ce mémoire. Ce cadre se focalisera sur les phases amont du projet.

CHAPITRE IV : VERS UNE APPROCHE DE SPÉCIFICATION D'IHM DE SUPERVISION À BASE DE SERVICES WEB DANS LES SYSTÈMES INDUSTRIELS COMPLEXES

I. INTRODUCTION 83

II. DESCRIPTION GLOBALE DE L'APPROCHE PROPOSÉE 85
- II.1. Positionnement de l'approche proposée dans le cadre du processus unifié 85
- II.2. Présentation globale des trois phases constitutives de l'approche 86
- II.3. Articulations entre les étapes de l'approche 89

III. DESCRIPTION DE LA PHASE 1 : ÉTUDE DE L'ORGANISATION GLOBALE DE SUPERVISION ET ANALYSE MÉTIER 90
- III.1. Étape 1 : Analyse métier 90
- III.2. Étape 2 : Analyse des tâches 94
- III.3. Étape 3 : Analyse des utilisateurs 97
- III.4. Conclusion sur la phase 1 98

IV. DESCRIPTION DE LA PHASE 2 : ANALYSE ET EXPRESSION DES BESOINS 98
- IV.1. Étape 1 : Identification et catégorisation des services métier 99
- IV.2. Étape 2 : Identification des besoins et des acteurs de l'organisation 102
- IV.3. Conclusion sur la phase 2 112

V. DESCRIPTION DE LA PHASE 3 : SPÉCIFICATION ET CONCEPTION DE L'IHM DE SUPERVISION 113
- V.1. Étape 1 : Spécification de l'interaction homme-machine 113
- V.2. Étape 2 : Spécification de l'interface utilisateur 121
- V.3. Étape 3 : Maquettage et prototypage de l'IHM 126
- V.4. Conclusion sur la phase 3 130

VI. CONCLUSION 131

CHAPITRE IV : VERS UNE APPROCHE DE SPÉCIFICATION D'IHM DE SUPERVISION À BASE DE SERVICES WEB DANS LES SYSTÈMES INDUSTRIELS COMPLEXES

I. Introduction

Dans le chapitre 1, nous avons expliqué que les systèmes de supervision industriels qualifiés de traditionnels étaient exigeants en matière d'interfaces homme-machine et qu'il était possible d'étendre les missions de base de la supervision traditionnelle ; ceci est possible en allant vers une supervision plus globale grâce à l'exploitation de nouveaux périphériques et réseaux engendrant de nouveaux besoins donc de nouvelles fonctionnalités dont certaines pourront être destinées à des opérateurs nomades. Nous partons donc d'un contexte local classique de supervision à un contexte plus large et distribué avec des activités aussi bien à l'intérieur de la ou des salles de contrôle que des activités à l'extérieur de la salle de contrôle, voire même à l'extérieur de l'entreprise.

La problématique nouvelle suite à l'apport des sciences et technologies de l'information et de la communication en entreprise permet de nouveaux challenges induisant ainsi de nouvelles motivations concernant l'interaction Homme-Machine de supervision. La problématique du travail en situation de mobilité est souvent couplée à la prise en compte du contexte de travail. Par conséquent, il peut être nécessaire aussi de prendre en charge la sensibilité au contexte et l'adaptation de l'IHM de supervision.

De nouveaux scénarios complexes et représentatifs de nouvelles situations de supervision et en entreprise entraînent de nouvelles problématiques de conception. En effet, comme nous l'avons souligné, considérer l'IHM de supervision totalement ou presque dédiée à la supervision en salle de contrôle n'est souvent plus approprié au contexte d'une organisation complexe. Par conséquent, notre contribution vise à pallier cela et aller au-delà en investiguant et étudiant des aspects complémentaires de l'IHM classique de supervision. Les approches orientées services, ayant fait l'objet du chapitre 2, offrent des solutions prometteuses à ce sujet.

Parce que les IHM de supervision utilisant les technologies du web sont des applications web, celles-ci ne peuvent pas être conçues comme des applications ou systèmes isolés. En effet, dans un environnement métier distribué et hétérogène (cette vision ayant été décrite dans le chapitre 1), et afin d'atteindre un ensemble d'objectifs communs ou partagés par un ensemble d'acteurs internes et externes à l'organisation, les différentes applications, qu'elles soient orientées web ou pas, doivent coopérer entre elles, soit d'une façon automatique, on parle de communication ou de coopération application à application, ou bien par le biais de leurs utilisateurs à travers leurs différentes IHM (basées sur le web ou non).

Sans rentrer dans les détails techniques différenciant les diverses technologies du web pouvant être exploitées dans le développement d'applications (interactives ou non), les technologies des services web sont des candidates naturelles dans le développement des applications qui nous intéressent. Ainsi nous considérons cette voie comme base ou fondement à notre travail dans la recherche d'une approche de développement d'IHM de supervision exploitant les technologies du web.

Dans les chapitres précédents, un état de l'art sur les méthodes et modèles de développement de systèmes interactifs classiques puis enrichis d'une part, et les développements orientés services d'autre part a permis de mettre en évidence l'absence de démarche précise d'aide à la conception d'IHM de supervision évoluant dans un environnement technologique basé sur le web. L'apport principal de notre travail de recherche est la proposition d'une démarche centrée utilisateur permettant de guider le concepteur d'IHM de supervision dans l'élaboration de solutions orientées services. Cette démarche pour qu'elle soit exploitable nécessite la participation et la communication entre différents profils de personnes pouvant être impliqués dans le projet : experts du domaine d'application, analystes métier, spécialistes en IHM, etc.

Jusqu'à présent, les travaux de recherche existants dans la littérature relatifs au rapprochement des approches des développements à base de services web et des approches de développement traditionnelles ou classiques d'application sont considérés uniquement suivant un angle de vue, celui du génie logiciel. En d'autres termes, on intègre ou on associe des aspects issus des deux approches en vue d'obtenir un cadre global de développement. Par ailleurs, il n'existe pas ou peu d'étude concernant ce rapprochement sous l'angle de l'IHM à notre connaissance. Le processus adopté par tous les modèles classiques ou enrichis ne convient pas au développement d'IHM de supervision avancée, basée sur le web. Par conséquent, le paradigme de développement traditionnel d'application doit être changé ou adapté en s'appuyant entre autres comme nous le verrons dans ce chapitre sur des aspects relatifs aux processus métier, ceux-ci pouvant servir de point de départ pour aller vers une approche nouvelle orientée service, de développement d'applications interactives de supervision.

Par conséquent, nous considérons notre travail comme un pas supplémentaire visant à intégrer ou considérer un développement d'application orienté service sous les angles du GL, de l'IHM, tout en ayant une vision métier. C'est dans cette optique que nous proposons un cadre méthodologique global. Il prend la forme d'une démarche s'appuyant sur des méthodes, et des modèles issus du GL d'une part, des technologies et ingénierie du web et de la gestion des processus métier d'autre part.

Nous mettrons en avant les différentes étapes du processus complet tout en focalisant sur les premières étapes allant jusqu'à la spécification de l'IHM. Il s'agit aussi de mettre en avant dans cette démarche les spécificités des services web sur lesquels repose notre proposition. Pour adresser tous les aspects relatifs aux services à concevoir et à intégrer ensuite, il est nécessaire de s'appuyer sur une méthodologie appropriée devant être intégrée dans celle du cadre méthodologique global.

Visant à nous situer dans une démarche agile, une approche hybride utilisant le principe du processus unifié est proposée, au lieu d'une approche purement descendante ou ascendante.
La partie deux du chapitre dresse une description globale de l'approche proposée en présentant ses trois phases principales ainsi que les articulations de leurs étapes. Ensuite, chacune des phases est successivement détaillée.

II. Description globale de l'approche proposée

II.1. Positionnement de l'approche proposée dans le cadre du processus unifié

Dans ce chapitre, nous définissons un cadre méthodologique global relatif à la conception d'IHM de supervision orienté services. La démarche préconisée par ce cadre méthodologique s'appuie sur les principes d'une conception centrée utilisateur comme définie par [Gould et Lewis, 85 ; Norman, 86] où plusieurs phases principales peuvent être mises en avant, en cohérence avec différents auteurs ayant proposé des démarches méthodologiques centrées utilisateur [Shneiderman, 97 ; Hackos et Redish, 98 ; Robert, 03 ; Lepreux *et al.*, 03 ; Muller, 02]. Par ailleurs, elle considère aussi des aspects caractéristiques aux méthodologies de développement de services web telle que celle présentée par exemple dans [Poh Lee *et al.*, 06 ; Zimmerman *et al.*, 04].

Ce cadre général de développement s'inscrit dans un processus se basant sur les trois principes du processus générique unifié déjà évoqué dans le chapitre 3 (démarche itérative, pilotée par les cas d'utilisation, et centrée sur l'architecture) et proposant un découpage du projet en quatre grandes phases (Démarrage, Élaboration, Construction, Transition) où on retrouve les principales activités de développements conduites de façon itérative et incrémentale. Dans l'approche proposée, nous nous intéressons particulièrement aux étapes conduisant à la spécification de l'IHM comme illustré par la figure 4.1 où nous situons notre contribution. Elle identifie trois grandes phases composées d'étapes décrites ci-dessous.

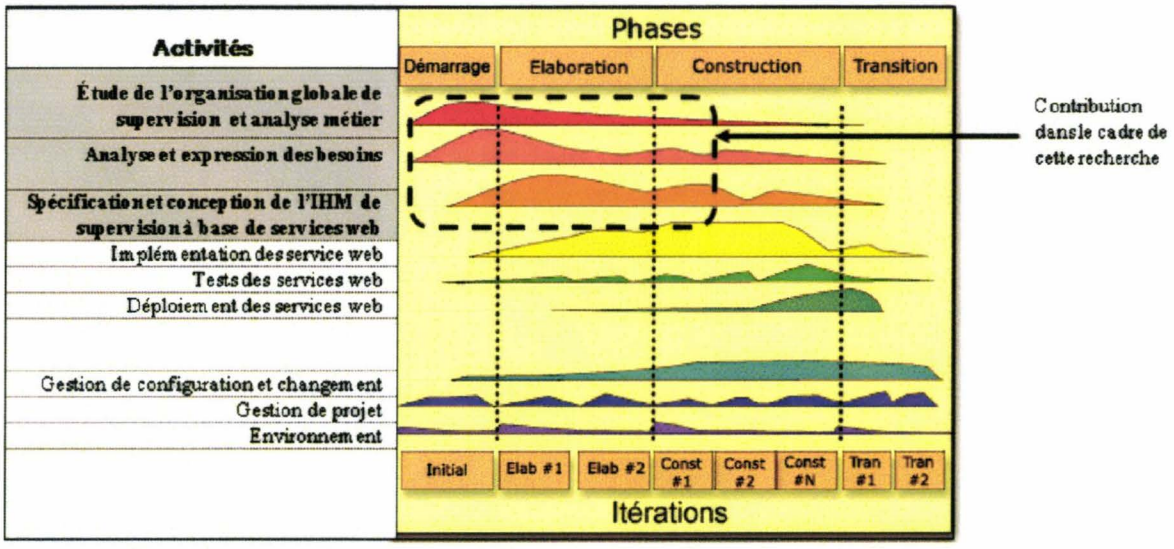

Figure 4.1. Positionnement de notre contribution par rapport aux principes de base d'un processus unifié

II.2. Présentation globale des trois phases constitutives de l'approche

Cette section présente globalement les trois phases qui composent l'approche proposée.

Phase 1 : Étude de l'organisation globale de supervision et analyse métier.
Elle consiste en une étude préalable de l'organisation complexe globale existante visant l'identification du problème, des objectifs relatifs au métier et au système homme-machine global afin d'établir une vision globale de la situation, des principales exigences, processus clés et contraintes ainsi que le recensement des principaux risques (organisationnels, techniques, etc.). En d'autres termes, on commence par une étude d'opportunité concernant l'adoption d'une solution de développement à base de services web et dont le but est de présenter un ensemble d'éléments pertinents qui permettront de décider ou non de l'opportunité du projet. Dans le cas échéant, nous procédons à trois types d'analyses prépondérantes pour la suite de notre projet où chacune est considérée dans une étape particulière (figure 4.2).

L'étape 1 concerne l'analyse métier dont l'objectif est de comprendre et communiquer la nature et le contexte de l'environnement métier au sein de l'organisation complexe dans lequel la future IHM de supervision sera développée sachant que nous visons un projet de conception d'IHM de supervision en liaison avec un processus métier lequel processus est considéré comme un ensemble de services web interagissant de bout en bout.

L'étape 2 concerne l'analyse des tâches des acteurs humains pouvant être accomplies au sein de l'organisation complexe relativement à un ensemble de processus métier spécifiques et en rapport avec la supervision au sens large d'un procédé industriel. Par ailleurs, elle permet de recueillir des données et informations pertinentes sur de nombreux aspects de celles-ci. Sachant que nous visons un projet de conception d'IHM de supervision utilisant le paradigme de l'orienté service, il est essentiel de souligner que l'analyse des tâches considérée dans cette étape ne vise que deux types d'analyse parmi les trois possibles au sens de [Stammers *et al.*, 90] (comme déjà précisé dans le chapitre 3) : soit la mise à jour (amélioration) d'un système existant, ou lorsque le système à concevoir résulte de plusieurs systèmes déjà existants, de la modélisation des tâches effectuées au niveau de ces systèmes découlent des informations réutilisables pour le nouveau système. Par ailleurs, il est important de souligner que cette étape concerne l'analyse des tâches humaines aussi bien en situations normales qu'anormales. Enfin, sachant que l'analyse des tâches humaines est en étroite liaison avec l'identification des caractéristiques, ressources et limites cognitives de l'utilisateur, il est donc essentiel et nécessaire d'aller en profondeur à ce sujet (cf. étape 3).

L'étape 3 consiste à définir et identifier les profils des utilisateurs potentiels de la future IHM en recueillant des données et informations pertinentes les concernant et servant de base de référence dans la spécification de l'IHM visée. Il s'agit notamment de considérer l'ensemble des acteurs humains pouvant être impliqués dans un processus métier global et en liaison étroite avec un procédé de supervision comme nous l'avons déjà souligné. Cela peut concerner par exemple des acteurs métiers impliqués au niveau stratégique de l'organisation et ayant des objectifs et besoins stratégiques vis-à-vis du processus ; des opérateurs humains que ce soit à l'intérieur de la salle de

contrôle ou à l'extérieur, des rondiers ou encore des opérateurs d'astreinte ; enfin d'autres acteurs humains collaborant et travaillant avec l'organisation comme par exemple des partenaires, des clients, des fournisseurs, etc. Tous ces acteurs humains de profils différents ont en conséquence des besoins différents vis-à-vis de l'IHM envisagée, qu'il s'agit de considérer dans la suite du processus de conception.

A l'issue de ces trois étapes essentielles, cette phase fournira un premier ensemble d'informations sur les processus métier et le système homme-machine global dans lesquels s'intégrera l'IHM de supervision envisagée. Ceci débouchera sur un premier cahier de charges à considérer à partir de la phase suivante.

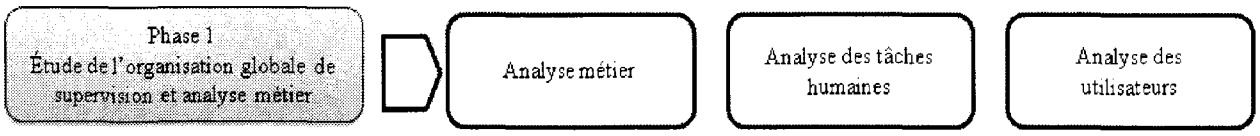

Figure 4.2. Phase 1 de l'approche proposée

Phase 2 : Analyse et expression des besoins

Dans une démarche centrée utilisateur en vue d'IHM à base de services web, il nous semble important d'analyser et étudier dans quelle mesure l'utilisation et l'introduction de services web est nécessaire. Il s'agit de procéder selon une analyse orientée services, pour pouvoir répondre aux questions suivantes : (1) quels sont les services à concevoir ou construire pour satisfaire les différents besoins de l'organisation et des utilisateurs ?, C'est-à-dire qu'il faut identifier les différents services, vérifier qu'ils répondent aux nouveaux besoins ; réciproquement les nouveaux besoins doivent bien cibler les services existants, (2) Comment doit être construit chaque service ?, (3) Quels sont les cas d'utilisation pour ces services ?, (4) Qui doit les invoquer (appeler) ?, (5) Dans quels rôles les utilisateurs vont-ils accéder aux services ?, (6) Qui peut invoquer les services et qui ne peut pas ? (7) Quels types de dispositifs doivent-ils concerner ?, etc. Ce sont autant de questions auxquelles nous devons répondre à travers cette phase. Par conséquent, l'objectif de cette phase est de capter, analyser et comprendre les besoins des différents acteurs de l'organisation complexe et de les traduire en vue de les classer dans des catégories de besoins devant être exprimés à l'aide de services web suivant deux étapes essentielles (figure 4.3).

L'étape 1, consiste à identifier les services web potentiellement utiles et à dégager une catégorisation de ces derniers. Des services de haut niveau d'abstraction (orientés métiers) sont visés en vue de leur modélisation.

Dans l'étape 2, pour chaque profil d'acteurs (utilisateurs) impliqué dans l'organisation, en liaison avec les résultats obtenus à l'issue de l'analyse métier et des tâches il faut capter, analyser et comprendre leurs besoins, les traduire en besoins de services en termes de caractéristiques, fonctions, et tâches et sous-tâches.

Nous soulignons que durant cette phase, il s'agit aussi d'élaborer des scénarios globaux que nous considérons comme un moyen efficace pour la capture des besoins utilisateurs et l'articulation des tâches et activités humaines. Ceux-ci aidant à la compréhension de l'utilisation de la future IHM, doivent être considérés assez tôt dans le processus de conception [Go et Carroll, 04]. Les scénarios correspondent à la décomposition des tâches telles qu'elles sont envisagées. En se référant à la manière la plus usitée en interaction homme-machine, il s'agit de décrire une décomposition structurée en buts et sous-buts intermédiaires mettant en évidence les objectifs que les utilisateurs cherchent à atteindre dans la planification de leurs actions, leur logique dans l'exécution de la tâche. Ceci permettra à l'utilisateur de participer à la validation des scénarios. A l'issue de la tache de conception et d'identification de scénarios, une spécification détaillée du comportement du système est fournie. Ceci conduira à la phase d'analyse de ces scénarios pour fournir ou produire un modèle formel des besoins équivalents pouvant être exprimé à l'aide de la notation UML [Jacobson *et al.*, 98].

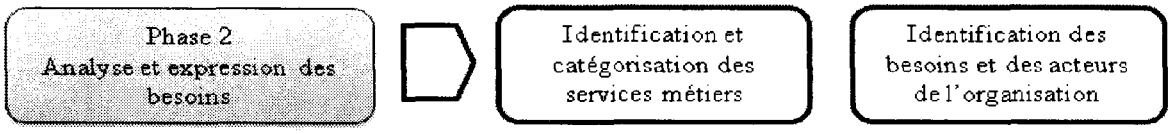

Figure 4.3. Phase 2 de l'approche proposée

Phase 3 : Spécification et conception de l'IHM de supervision à base de services web
Dans cette phase, il s'agit de la spécification et de la conception de l'IHM de supervision basée sur des services web. En d'autres termes, il s'agit d'exposer sous formes de services web des fonctions dédiées (fonctionnalités). Celles-ci correspondent aux traitements métiers logiques des différents besoins métiers exprimés ou retenus et relatifs à la supervision de process dans l'organisation complexe.

En se basant sur les analyses précédentes, nous préconisons une phase de spécification par scénario [Carroll, 00 ; Delotte, 06] pour les aspects dynamiques de l'IHM et maquettage/prototypage pour les aspects statiques. Ce sont deux méthodes universellement reconnues pour faciliter les interactions entre concepteurs et utilisateurs. Par conséquent, cette phase consiste à déduire pour l'ensemble des besoins en informations identifiés lors des phases d'analyse des utilisateurs et des tâches qu'ils ont à réaliser, les éléments d'interaction correspondants pour les différents services métiers suivant les contextes d'usage identifiés, Cette phase nécessite trois étapes essentielles (figure 4.4).

Dans l'étape 1, Il s'agit de modéliser l'interaction homme-machine dans un contexte d'un processus métier et en liaison avec la supervision de process à l'aide de services. Nous considérons particulièrement des aspects pertinents en relation directe avec des activités humaines tels que : traitement parallèle des tâches, synchronisation des tâches, branchement conditionnel, etc.

Dans l'étape 2, il s'agit de considérer les aspects statiques et dynamiques de l'interface utilisateur. L'aspect statique permet de spécifier les composants d'IHM correspondant au modèle

de la présentation d'un service web. En revanche, l'aspect dynamique consiste à décrire ou modéliser les interactions des utilisateurs avec l'IHM.

L'étape 3 consiste à maquetter et prototyper l'IHM de supervision. Ceci concerne essentiellement à donner une représentation visuelle des différents éléments opérationnels et constitutifs de l'interface utilisateur afin d'évaluer l'adéquation des choix de conception aux besoins des utilisateurs.

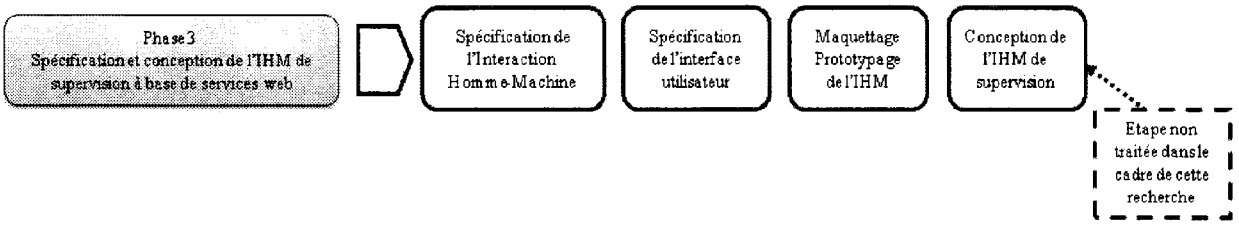

Figure 4.4. Phase 3 de l'approche proposée

Comme le montre la figure 4.4, nous n'abordons pas la conception de l'IHM. Il peut toutefois être important de noter que dans le cadre de l'utilisation d'UML, la conception correspond à un prolongement naturel de la spécification, par l'utilisation en particulier d'un ensemble de modèles communs [Booch *et al.*, 98].

II.3. Articulations entre les étapes de l'approche

Il existe différentes façons possibles d'articuler les étapes constitutives des trois phases. La figure 4.5 en donne un exemple représentatif. Sur cette figure les trois principales phases identifiées préalablement peuvent être conduites de façon itérative et incrémentale.

Notre démarche intègre aussi le point de vue de l'ergonome concernant l'analyse et la conception de l'IHM à des fins d'évaluations précoces (tôt dans le processus de conception). En d'autres termes, il s'agit d'un couplage des méthodes ergonomiques aux méthodes du génie logiciel. Des évaluations systématiques peuvent se faire au niveau de chaque étape selon des démarches participatives [Muller, 02] et autour de différents supports : maquettes papier, logicielles, modèles de tâches...

Il s'agit d'appliquer aussi des recommandations générales de l'ergonomie sur : la présentation des informations, l'organisation des fonctions à adapter à la logique de travail de l'utilisateur en intégrant des connaissances et des méthodes sur l'ergonomie pour mieux appréhender des situations de travail, etc. [Bastien et Scapin, 93].

Par ailleurs, les phases suivantes concernant la conception, l'implémentation, les tests, etc., ne sont pas traités dans ce mémoire.

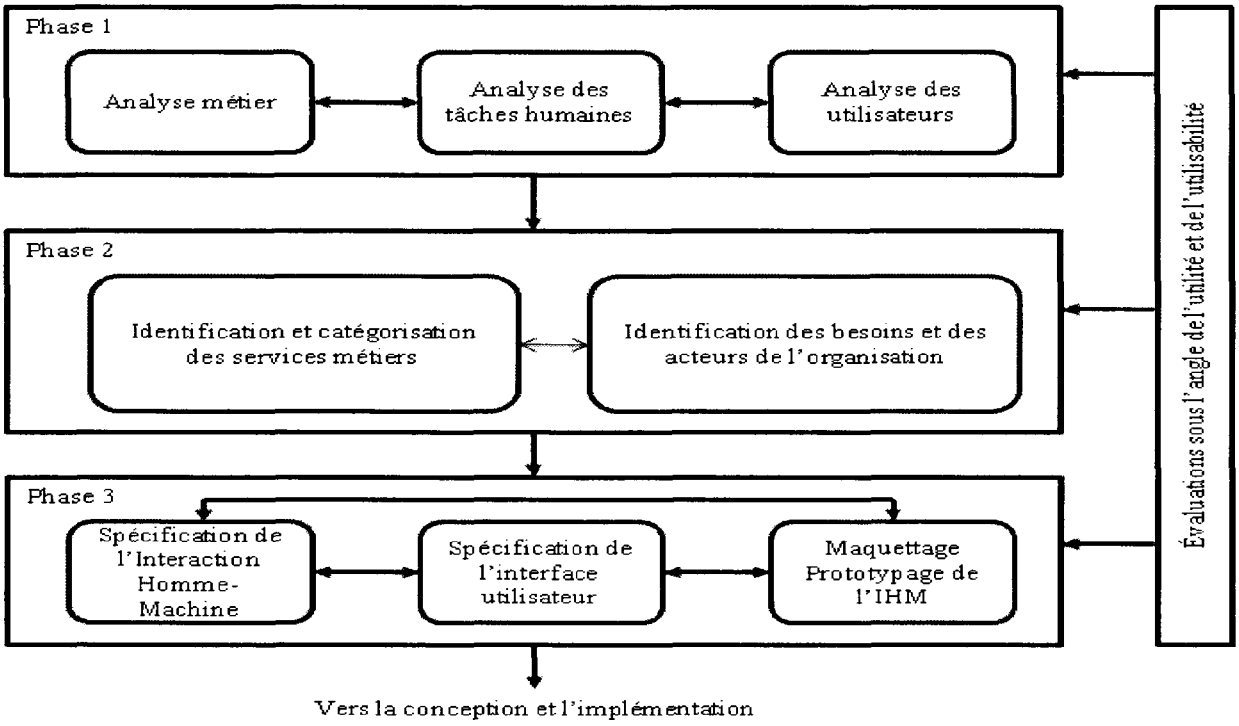

Figure 4.5. Proposition d'articulation entre étapes, importance des évaluations systématiques

Les trois phases sont successivement décrites dans les trois parties suivantes.

III. Description de la phase 1 : Étude de l'organisation globale de la supervision et analyse métier

Dans cette première phase, nous considérons la supervision industrielle de process sous l'angle métier afin de positionner ou situer la nouvelle supervision dans l'organisation globale et complexe comme elle a été décrite dans le chapitre 1. Ensuite nous considérons le système homme-machine de l'organisation dans sa globalité afin de mener d'autres analyses notamment celles relatives aux utilisateurs et à leurs tâches de supervision. Les étapes nécessaires sont décrites ci-dessous.

III.1. Étape 1 : Analyse métier

L'étape d'analyse métier doit considérer un ensemble d'éléments relatifs au métier de l'organisation complexe de type industriel tels que les éléments du domaine d'application, les systèmes et technologies en place ou encore les contextes d'usage dans lesquels les différents acteurs humains de l'organisation évoluent. Le travail à réaliser concerne particulièrement les aspects suivants :

Identification des processus métiers

Il s'agit d'identifier l'ensemble des processus métiers donnant de la valeur ajoutée à l'organisation complexe en liaison avec la supervision industrielle (domaine métier) à travers le paradigme de l'orientation service. Ceci donnera lieu à des services métiers. Pour cela, il s'agit de comprendre par où commencer et quels sont les processus métiers pouvant être les plus

appropriés à considérer en priorité afin de pouvoir identifier les services métiers nécessaires. Ceux-ci peuvent servir comme point de départ en vue de leur analyse et modélisation ensuite. En effet, on vise à identifier les services métiers candidats pouvant être exprimés par des services web. Nous visons particulièrement ceux qui répondent aux types de besoins (nouveaux) exprimés ou mis en avant par l'environnement nouveau de la supervision (cf. chapitre 1) tels que : la mobilité des acteurs impliqués dans le processus de supervision, leur coopération et collaboration dans le cadre de leurs missions respectives, leurs besoins en informations, etc. Cette étape peut être conduite par des membres de l'équipe de l'ingénierie de services (analystes métier, experts des technologies de l'information, etc.) selon le schéma de la figure 4.6, afin d'identifier les services métier suivant la figure 4.7.

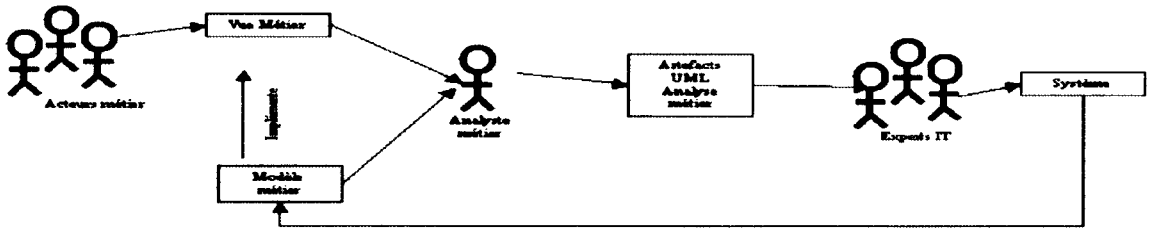

Figure 4.6. Analyse et modélisation des processus métier en vue d'identifier des services web métier (source : http//objectdiscovery.com)

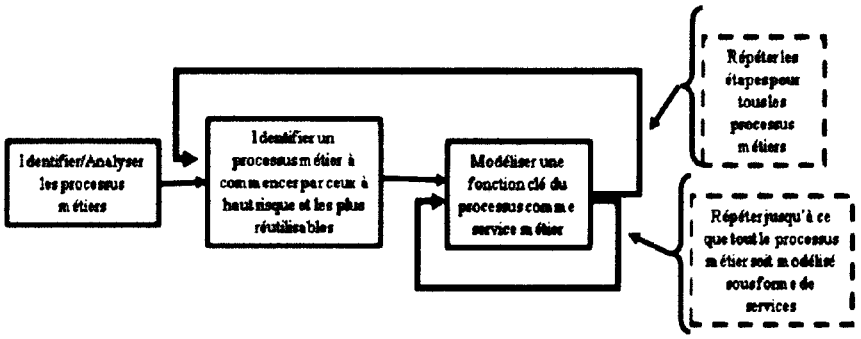

Figure 4.7. Processus d'identification de services métier

En conséquence, on obtient une liste des processus relevant du domaine de la supervision à modéliser en s'appuyant sur les processus externes dans lesquels divers acteurs de l'organisation sont aussi impliqués.

Analyse et modélisation de processus métiers

La modélisation métier doit s'appuyer sur une méthodologie se focalisant sur des scénarios métier pour pouvoir déduire ou extraire des définitions fonctionnelles lesquelles généralement sont implémentées à travers une modélisation visuelle [Fioretti et Carbone, 07] (figure 4.8).

<Intitulé du scénario métier>	
Description :	*<Description du scénario métier>*
Participants :	<Liste des participants au processus métier.>
Rôles :	<Décrit le rôle associé à chaque participant.>
Relations :	<Décrit les relations existantes entre le participant et les autres participants du scénario.>
Objectifs métier :	<Décrit l'objectif métier du participant dans ce scénario.>
Besoins :	<Décrit les besoins fonctionnels du participant dans ce scénario.>
Diagrammes :	<Décrit les différents diagrammes relatifs au scénario.>

Figure 4.8. Description globale d'un scénario d'un processus métier

Un processus métier étant constitué d'un ensemble d'activités, les processus métiers existants et identifiés au niveau de l'organisation sont ensuite modélisés à l'aide de diagrammes d'activités UML pour obtenir des modèles de processus (figure 4.9). Ensuite, il s'agit d'extraire des diagrammes de cas d'utilisation exprimés sous formes de spécifications fonctionnelles (besoins fonctionnels) de haut niveau d'abstraction (1er niveau d'analyse) en termes de services métier de supervision. On obtient ainsi un modèle de cas d'utilisation métier exprimant ainsi l'usage métier des services web à partir des scénarios métier (figure 4.10)

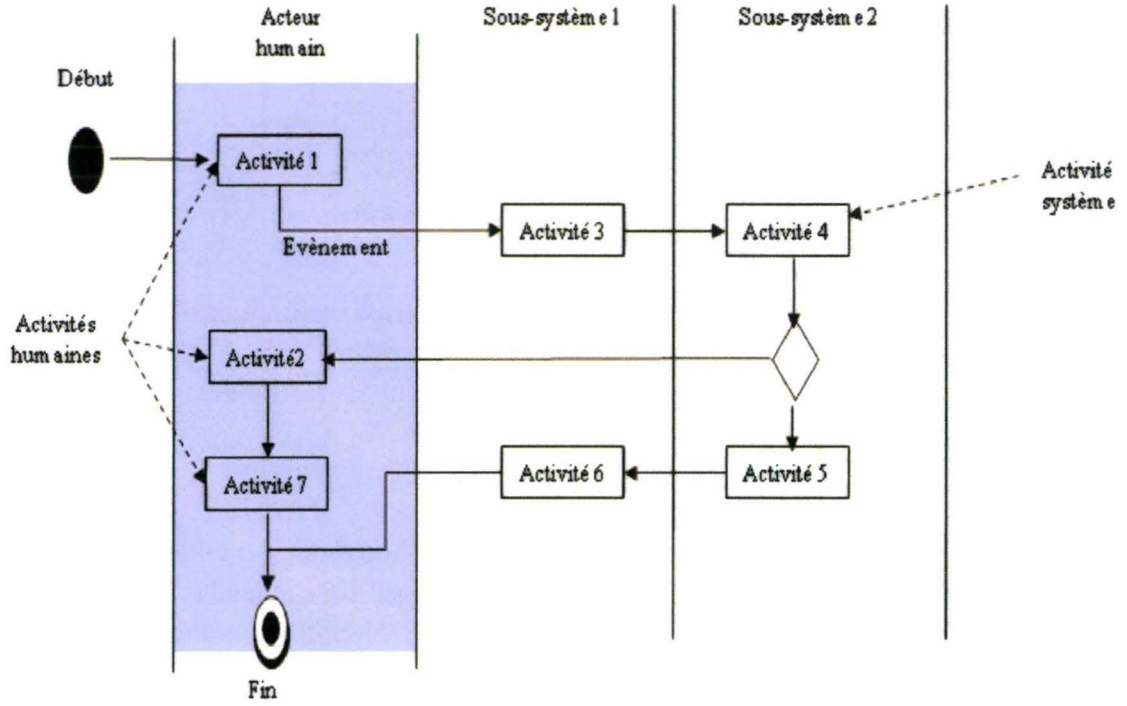

Figure 4.9. Exemple de modèle de processus modélisé à l'aide de diagrammes d'activité UML

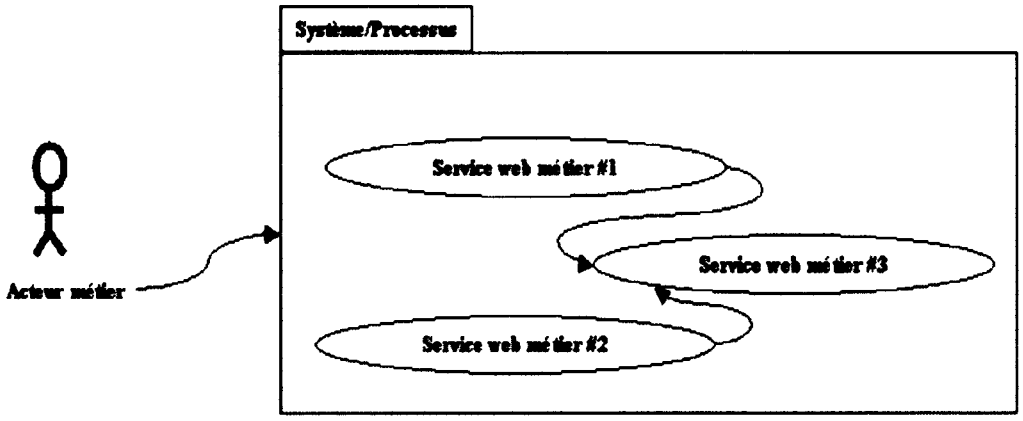

Figure 4.10. Exemple d'usage métier des services web

[Fioretti et Carbone, 07] définit un service comme étant une tâche répétable (qu'on exécute plusieurs fois) relative à un processus métier. Les tâches sont donc des services en regard avec le processus métier d'une part et le processus métier est une composition de services d'autre part.
Par ailleurs, la conception d'un système d'une organisation complexe doit considérer les scénarios métier nécessaires au support du métier de l'entreprise et les tâches concrètes que l'utilisateur final se doit d'accomplir avec le système en charge du métier.
En regard du processus métier, [Fioretti et Carbone, 07] met en avant deux types de scénarios : *scénarios de contexte* et *scénarios métier.*
Les scénarios de contextes apportent aux scénarios métier les informations relatives à la manière avec laquelle les utilisateurs accomplissent concrètement leurs tâches afin d'atteindre les objectifs qui leur ont été assignés dans le contexte de leur métier. Ceci fait l'objet de l'étape 2 suivante.

A l'issue de l'étape 1 nous aurions mis en avant une décomposition en couches distinctes d'un processus métier de supervision dans le cadre d'une architecture orientée service comme le montre la figure 4.11. Ces différentes couches correspondent au niveau logique de l'organisation complexe de la supervision modélisée sous forme de services.

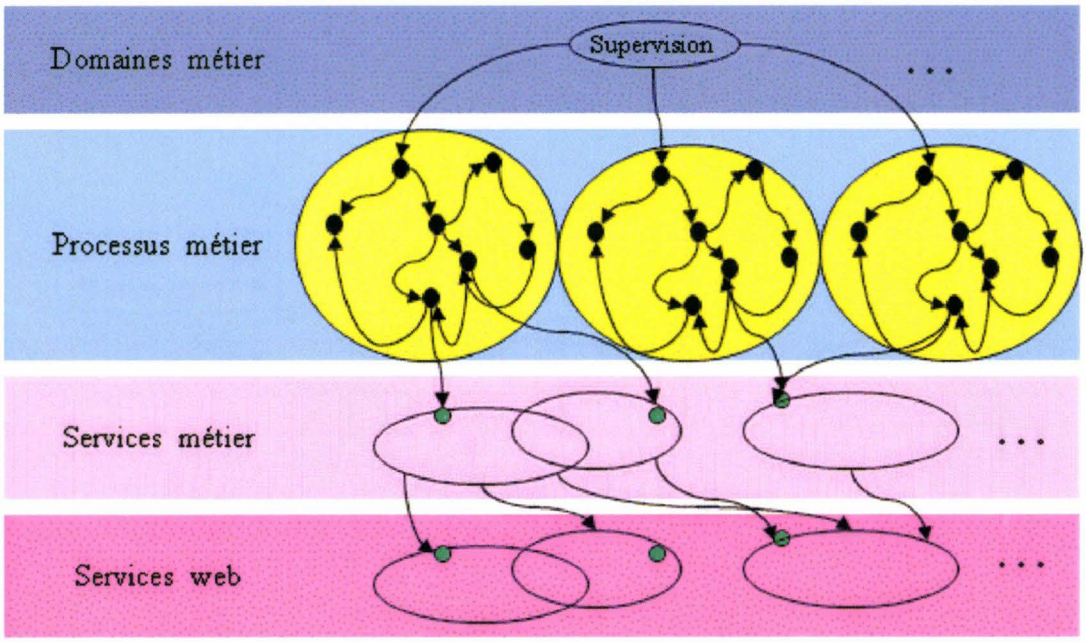

Figure 4.11. Vue métier de la supervision dans le cadre de SOA

III.2. Étape 2 : Analyse des tâches

Dans cette étape, une analyse et une modélisation du système homme-machine global de l'organisation sont visées sous l'angle des tâches. Sachant que l'analyse des tâches consiste à relier objectifs, tâches (et sous tâches) et actions, il s'agit de comprendre les objectifs des utilisateurs et de comprendre comment ils passent des objectifs aux tâches puis aux actions que ce soit en situation normale ou en situation anormale. En effet, nous nous intéressons particulièrement aux aspects de fonctionnement normal et anormal du système homme-machine afin de mieux cerner les différents besoins, que ce soit en information, en mobilité ou encore en coopération et collaboration des différents acteurs humains d'une part et selon différents contextes opérationnels d'autre part (scénarios de contexte). Plusieurs techniques et méthodes sont candidates à cet effet (cf. chapitre 3). Néanmoins, le choix de la (ou des) méthode (s) adéquate (s) dépend de l'objectif et de la nature du système considéré. Parfois, une combinaison de celles-ci est nécessaire [Moussa *et al.*, 06].

Dans l'étape 1 ci-dessus, nous avons mis en avant la vue métier du domaine fonctionnel de la supervision au sein de l'organisation complexe. Par conséquent, afin de garder le principe du découpage fonctionnel au niveau de l'analyse des tâches, nous pouvons avoir recours aux méthodes dites cartésiennes ou structurées (cf. chapitre 3) comme par exemple la méthode SADT, une méthode bien indiquée à ce sujet et très utilisée en milieu industriel, voir notamment dans [Abed et Ezzedine., 98 ; Abed *et al.*, 01]. Ceci nous permet de décomposer le système homme-machine global de l'organisation en plusieurs sous-systèmes hiérarchiquement fonctionnels reflétant l'organisation complexe. En d'autres termes, nous mettons en évidence non seulement des aspects qui seront essentiels dans la spécification des interfaces utilisateurs mais aussi des aspects organisationnels comme par exemple leur(s) implantation(s) géographique(s) (accessibles à l'intérieur et/ou à l'extérieur de l'organisation), les technologies

d'interaction et de communication utilisées, etc. Ainsi, la décomposition du système homme-machine global de supervision mise en place est exploitée par la suite en vue d'une autre analyse plus fine et approfondie afin d'étudier les sous systèmes obtenus séparément d'une façon itérative et incrémentale (figure 4.12).

Cette étude concerne notamment les dysfonctionnements pouvant exister au niveau de chaque sous-système identifié en mettant en évidence l'ensemble des causes possibles d'un dysfonctionnement donné. Il s'agit en effet d'aider non seulement des opérateurs humains en salle de contrôle à localiser les problèmes et à rétablir une situation normale, mais aussi des acteurs en dehors de la salle de contrôle et même de l'organisation, concernés plus ou moins par ces problèmes. Le rétablissement d'une situation normale en cas d'un dysfonctionnement donné, impliquant plusieurs acteurs humains (voir aussi étape 3 ci-après), à l'intérieur ou à l'extérieur de l'organisation, met en évidence un ensemble de classes de scénarios (scénarios de contexte) possibles et typiques de supervision où l'usage des services web est indiqué. Ces scénarios sont ensuite analysés (exploités) pour en extraire des éléments d'interfaces utilisateur à spécifier (voir phase 3).

Dans ce cas, l'usage des services web nécessite de tenir compte d'un ensemble de paramètres tels que : le contexte opérationnel du dysfonctionnement, les informations et variables mises en cause, les acteurs humains impliqués, les opérations/actions requises pour rétablir une situation normale, les moyens en IHM mis en place pour y arriver, etc. Tous ces paramètres font l'objet d'une première étude globale dans cette première phase dont les résultats sont exploités dans la suite du processus notamment à partir de la phase d'expression des besoins afin de dégager un nouvel ensemble de classes de scénarios de supervision pouvant être exprimés à l'aide de services web. En effet, dans cette étape, nous dégageons ou identifions seulement un premier ensemble de scénarios les plus représentatifs à partir desquels nous appliquons le principe de l'orienté service. Cet ensemble est identifié conformément à l'esprit du processus unifié : lever ou considérer des risques majeurs d'abord à travers des scénarios appropriés, selon une approche itérative et incrémentale, c'est-à-dire que d'autres scénarios de moindres risques peuvent être déduits et mis en avant jusqu'à ce que la majeure partie des scénarios soit passée en revue (phase 2).

A la suite de cette décomposition, nous obtenons un exemple de modèles groupant les scénarios et cas d'utilisation métier de 1er niveau (figure 4.13).

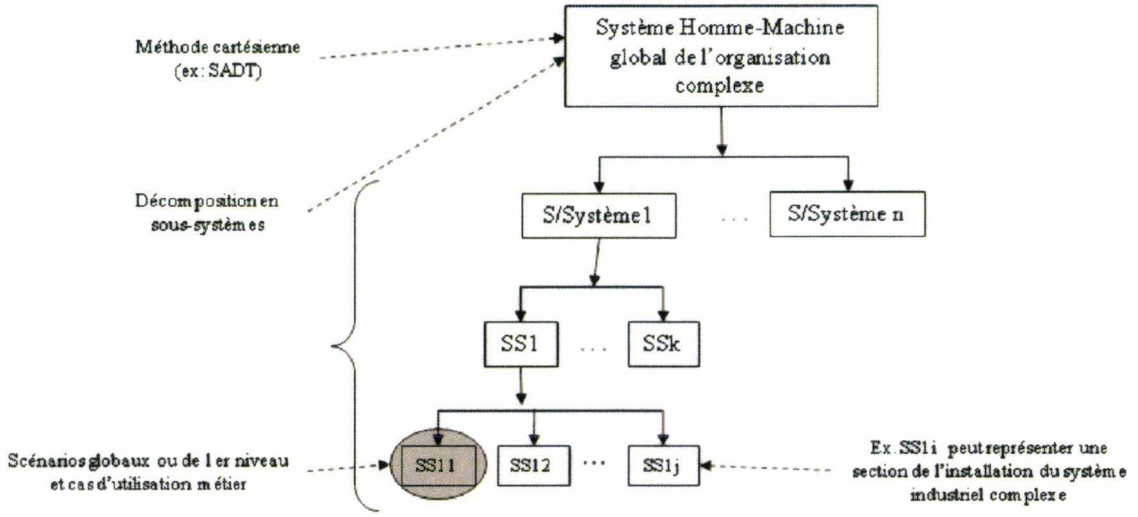

Figure 4.12. Décomposition hiérarchique d'un système homme-machine global

L'analyse des tâches vient en appui de celle d'analyse métier afin de proposer des modèles de tâches à l'aide des différents formalismes et notations bien connus (cf. chapitre 3). Ainsi, l'analyse métier s'appuyant sur ces modèles de tâches, on peut construire des services web de différentes granularités, de services composés ou groupés jusqu'au service élémentaire. Par exemple, en utilisant le formalisme CTT (ConcurTask Trees) [Patterno, 00] (cf. chapitre 3), une tâche abstraite peut être assimilée à un service web métier abstrait qu'il va falloir ensuite décomposer selon les différents besoins réels des utilisateurs jusqu'au niveau élémentaire lequel correspond au service web IHM (de présentation).

Les modèles de tâches peuvent être utilisés pour expliciter un cas d'utilisation. Après la décomposition en tâches et sous-tâches, ces tâches élémentaires sont associées aux représentations des tâches du domaine en termes d'objets (objets du domaine ou métier, par exemple les alarmes, les synoptiques, les variables, les sections, les process, etc.) (figure 4.13).

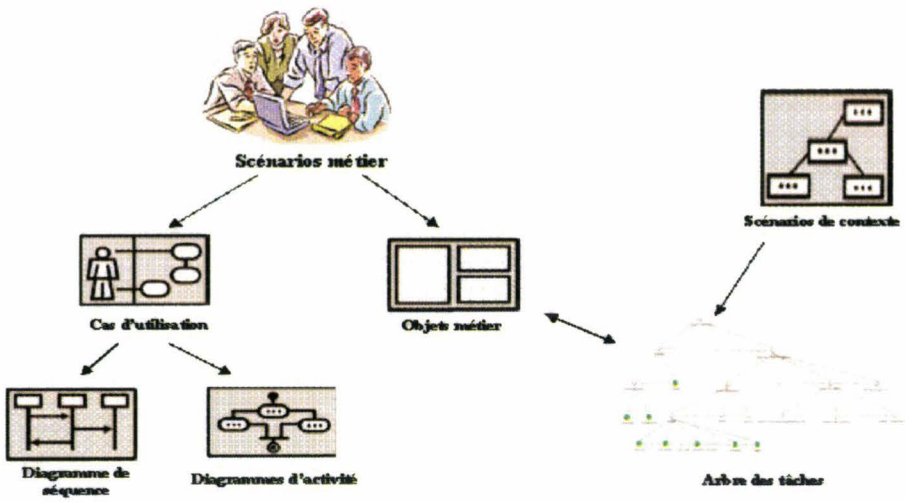

Figure 4.13. Les différents modèles construits durant la phase 1

Par ailleurs, la modélisation des étapes amont de la spécification de l'IHM de supervision consiste aussi à formaliser les flux des différentes tâches impliquées dans la réalisation d'un service métier, notamment leur communication (envoi et réception de messages), tâches internes (transformation, manipulation de données et appel à des applications), règles de dépendance entre les tâches (séquence, choix, synchronisation, etc.). Par conséquent, tous ces aspects, pouvant être mis en avant lors de l'élaboration des différents scénarios de supervision, font l'objet de la phase 3.

III.3. Étape 3 : Analyse des utilisateurs

Dans cette étape, pour l'ensemble des acteurs de l'organisation identifiés précédemment, il s'agit de recueillir des données les concernant qui seront utiles vis-à-vis de la future IHM. Par exemple une classification par fonction (rôle), une typologie par rapport à chaque classe de tâche (novice, expérimenté, etc.) ou encore le niveau de formation, de connaissances, etc.

Une analyse fine doit être effectuée par un spécialiste des facteurs humains afin d'aboutir à la construction d'une banque ou base de données incluant entre autres les limites et ressources cognitives des utilisateurs. Ainsi, tous ces aspects seront considérés lors des phases de la spécification et d'évaluation du système interactif devant être adapté au modèle de l'utilisateur. Pour ce faire, on peut s'appuyer sur les tentatives de modélisation humaines issues des sciences cognitives (cf. chapitre 3) ; J. M. Robert [Robert, 03] recense un ensemble de caractéristiques à prendre en compte dans une telle étape.

Sachant que la conception de l'IHM de supervision visée repose sur le principe que chaque acteur humain de l'organisation a des besoins différents et qu'à ce titre, il doit disposer d'outils nécessaires et adaptés à sa demande dans l'accomplissement de sa mission, leurs rôles et responsabilités doivent être identifiées vis-à-vis des tâches et activités analysées dans l'étape 2, par exemple quels sont les acteurs responsables du suivi en temps réel de l'état de la production, de la planification, de l'ordonnancement et du suivi des ordres de production ou de fabrication, etc. Par ailleurs, il s'agit aussi d'identifier les droits et accès multi-niveaux de ces acteurs de telle sorte qu'on associe à chacun d'entre eux des propriétés garantissant une navigation dans l'IHM visée adaptée à ses besoins et prérogatives et facilitant ainsi la traçabilité et le contrôle de ses actions (figure 4.14).

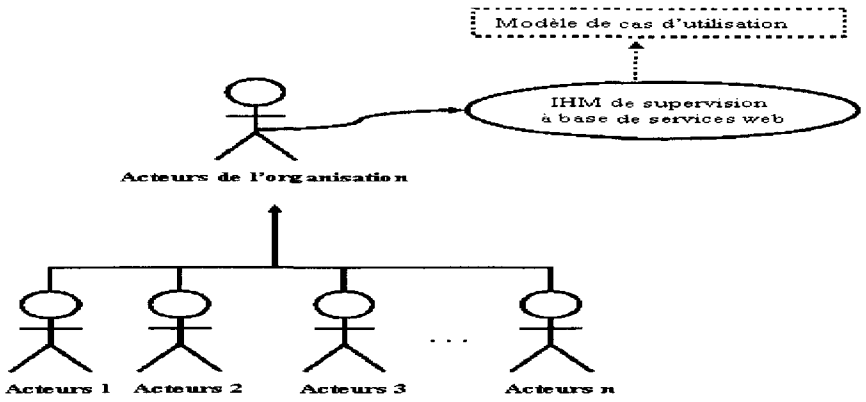

Figure 4.14. Vue générale de cas d'utilisation de l'organisation globale autour de la supervision

Sachant que la coopération au sein d'une organisation correspond à la communication, la coordination d'actions et la collaboration entre les différents acteurs, ces derniers sont liés entre eux par des relations, le plus souvent de hiérarchie et/ou de responsabilité ; ces relations influent sur leurs coopérations et leur rendement. Par conséquent, ceci doit être bien compris et modélisé.

A l'issue de cette étape, nous obtenons un modèle organisationnel des acteurs humains impliqués dans le processus métier de supervision exprimant les différents critères de compétences, divers profils, de niveaux d'accès et de responsabilités appropriés des différents intervenants concernés. Comme expliqué dans la figure 4.5, ces informations seront aussi bien utiles pour les étapes 1 et 2 de cette phase ; que pour procéder à l'analyse et l'expression des besoins dans la phase suivante.

III.4. Conclusion sur la phase 1

Durant cette phase, une étude préliminaire de l'organisation complexe est menée à travers certaines analyses essentielles.

L'analyse métier est conduite selon l'objectif d'une approche orientée service. Ceci permet de dégager un premier ensemble de scénarios d'usage des services web métier en supervision. Ceux-ci sont décrits à l'aide de cas d'utilisation métier, eux-mêmes extraits à partir de scénarios métier.
L'analyse des tâches permet de mettre en évidence une décomposition du système homme-machine global selon différents sous systèmes ou processus distincts et plus simples à considérer d'une part, et d'autre part, un premier ensemble d'informations pertinentes pour les différentes situations étudiées.
Enfin, l'analyse cognitive des utilisateurs conduit à l'identification des principaux acteurs métier impliqués dans les scénarios métier construits lors des analyses métier et des tâches.
Par ailleurs, soulignons que durant cette phase, les services métiers (de 1er niveau) sont définis indépendamment des aspects techniques et des contraintes physiques de l'environnement de supervision.

A partir des éléments obtenus, il s'agit d'un deuxième niveau d'analyse afin de dégager ou d'identifier l'ensemble des services web correspondant à ces services métier, mais en tenant compte cette fois-ci des nouvelles exigences et contraintes issues de la nouvelle situation de supervision engendrée ou induite. En d'autres termes, il s'agit de considérer de nouveaux scénarios de supervision, cette fois-ci détaillés, donc de nouvelles fonctionnalités de l'IHM, à travers des scénarios d'usage des services web, ainsi que les acteurs humains pouvant y être impliqués. Ceci fait l'objet de la phase 2

IV. Description de la phase 2 : Analyse et expression des besoins

Lors de la phase précédente, nous avons obtenu un premier ensemble de cas d'utilisation métier de supervision ainsi que les principaux acteurs métier.

Dans cette phase, il s'agit d'identifier et de capter différents besoins manquants ou incohérents (mal exprimés ou identifiés) tels que : (1) les besoins métier en liaison avec le procédé supervisé, (2) les besoins des opérateurs de supervision, (3) les besoins d'autres acteurs impliqués dans l'organisation complexe, etc. Ensuite, il s'agit de transformer ces besoins métier des acteurs en *fonctionnalités d'IHM de supervision*. Ces fonctionnalités doivent correspondre aux exigences des différents acteurs humains de l'organisation vis-à-vis de l'IHM dans le contexte d'une supervision étendue ou globale comme cela a été largement exposé dans le chapitre 1. Ensuite, tous ces besoins seront exprimés en termes de services web d'une part, vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives ou non d'autre part. Pour ce faire, nous procédons en deux étapes.

Notre démarche étant centrée utilisateur, nous faisons appel à d'autres méthodes spécifiques destinées à recueillir et collecter des besoins utilisateurs, comme par exemple l'étude de documents décrivant l'organisation ou exploités par celle-ci, l'interview des différents acteurs humains, le questionnaire ou encore l'observation. Assez souvent, l'utilisation combinée de ces techniques est nécessaire.

Dans cette phase, l'aide des ergonomes et des experts métier s'avère importante. Le recueil et la collecte des besoins se font d'une façon itérative jusqu'à leur validation. Les besoins ainsi captés et collectés sont recensés, triés, classés, priorisés, etc. Nous obtenons ainsi, un catalogue ou un référentiel de besoins métier sur lequel nous pouvons itérer autant de fois que c'est nécessaire comme expliqué dans l'étape 1 suivante.

IV.1. Étape 1 : Identification et catégorisation des services web métier de supervision

Lors de la phase 1, nous avons obtenu un premier ensemble de cas d'utilisation de supervision obtenu à partir de scénarios métier exprimés durant l'étude préliminaire de l'organisation globale.
Une fois les principaux services métiers appropriés et nécessaires identifiés, dans cette étape, une 2ème analyse sur ces cas d'utilisation de services métier nous permet de définir et spécifier les besoins couverts par ces derniers. Cette analyse est conduite en tenant compte en particulier de la granularité et de la catégorisation des services.

La **catégorisation de services** consiste à regrouper des fonctions similaires relatives à la supervision pouvant être prises en charge par des acteurs métiers de supervision. Cette catégorisation de services correspond aux différents besoins métiers nécessitant d'être intégrés ou considérés dans la future IHM de supervision.

Nous procédons donc à la catégorisation des services web métier en vue de l'identification de services web candidats exprimés à l'aide d'une ou plusieurs opérations[25] (voir plus loin) selon la procédure illustrée par la figure 4.15.
Le processus de catégorisation consiste à sélectionner, classer, trier et organiser les cas d'utilisation des services métier obtenus lors de la phase 1 en regroupant ceux liés par une

[25] Opérations : ce sont des transactions qui représentent des unités logiques d'activité élémentaire telle que l'exécution d'une opération spécifique peut impliquer l'exécution d'autres.

affinité fonctionnelle (manipulation du même objet métier, même contexte fonctionnel, même objectif fonctionnel, etc.). La catégorisation donne lieu à des packages ou groupements de cas d'utilisation des services métier contenant des fonctionnalités métier de supervision permettant à des acteurs humains (métier) spécifiques ou ciblés d'interagir avec l'IHM de supervision (figure 4.16)

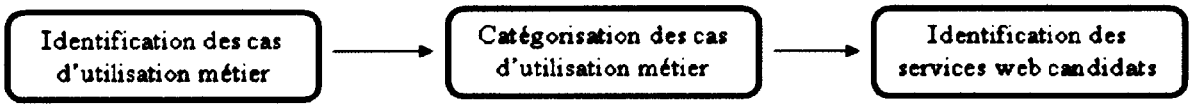

Figure 4.15. Approche globale de catégorisation de services

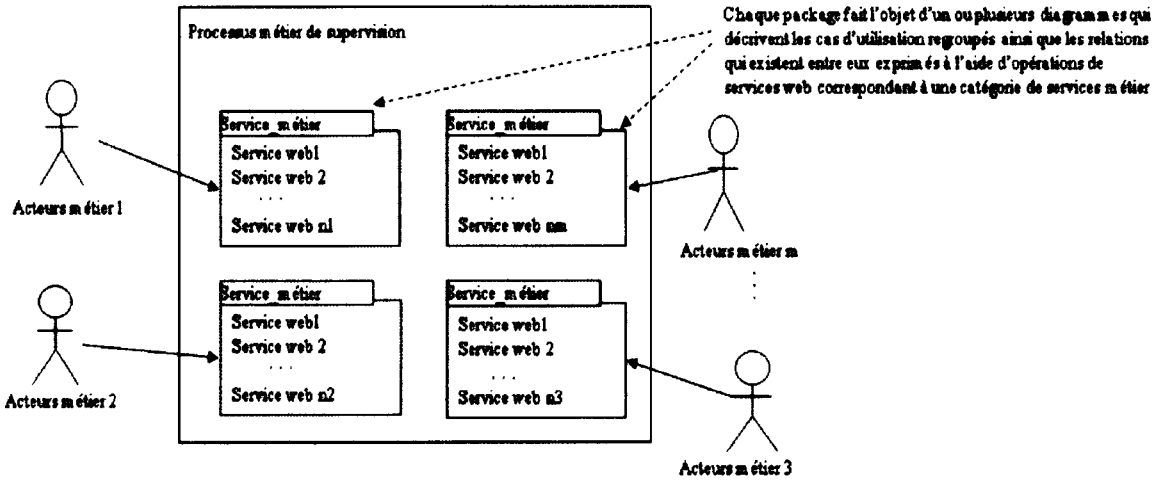

Figure 4.16. Modèle de cas d'utilisation de services métier

Durant cette étape, il est intéressant de souligner qu'à travers la catégorisation de services, il est possible de prendre en charge les contraintes de conception relatives à : (1) *l'interopérabilité de systèmes hétérogènes en silos* (donc leur IHM) et (2) *l'unification des vues des processus supervisés* à travers une IHM unifiée à travers des fonctionnalités transversales.

A l'issue de cette phase, ont été en conséquence mis en évidence des liens possibles entre les services relatifs aux fonctions métiers et des services relatifs à leurs représentations visuelles (donc de leur IHM) qu'il convient de considérer dans la suite du processus de développement en vue de leur spécification à l'aide de services web (figure 4.17).

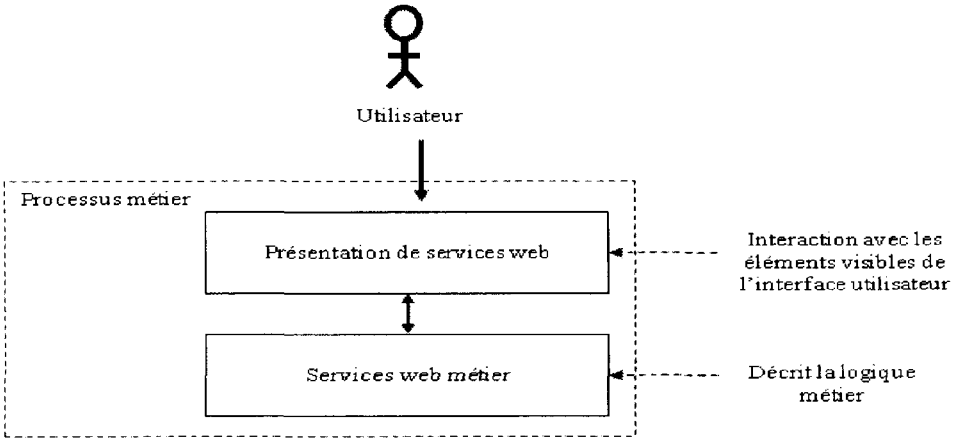

Figure 4.17. Différents services web d'un processus métier

Par ailleurs, les opérations relatives aux services web constitutifs des services web métier (processus métier) seront construites en tenant compte des objectifs de *réutilisation* d'une part et de *composition* de services d'autre part (voir chapitre 2). Ces opérations de services web sont à identifier durant l'étape 2 suivante, sachant que des dépendances peuvent exister et être identifiées entre différents besoins ou lors de l'identification de services. Nous rappelons que les dépendances de besoins ou de services identifiés correspondent aux liaisons de dépendances de services introduites dans le chapitre 2. Ainsi, il est utile de souligner que ceci est en relation avec l'orchestration des services d'une part et avec la notion de composition de services d'autre part (cf. chapitre 2), que nous considérons d'une façon particulière lors de l'étape de spécification (phase 3) surtout quand il s'agit de créer de nouvelles fonctionnalités relatives à l'IHM de supervision, répondant ainsi aux besoins d'agilité métier, un autre critère de conception que nous avons mis en avant dans les chapitres 1 et 3.

A l'issue de cette étape, l'ensemble des cas d'utilisation exprimant les différents besoins de l'organisation existante, recensés et captés dans un référentiel de besoins peuvent être décrits à l'aide de modèles de cas d'utilisation (figure 4.18)

<Intitulé du cas d'utilisation correspondant à un service métier>
Description : *<Description du cas d'utilisation >*
Acteurs : *<Liste de tous les acteurs impliqués dans le cas d'utilisation>*
Détails du cas d'utilisation
- But du cas d'utilisation
- Pré-conditions
- PostConditions (Succès)
- PostConditions (Échec)
- Évènements déclencheurs

Scénario nominal
- Enchaînement : *<Description de chaque enchaînement>*
- Acteur : *<Liste de tous les acteurs impliqués dans enchaînement>*
- Condition : *<Condition de branchement>*

Scénario alternatif
ALT x : <Nom du scénario>

Figure 4.18. Cas d'utilisation correspondant à un service métier (source : www.ws-i.org)

Une fois l'ensemble des éléments recueillis et recensés à travers les cas d'utilisation métier exprimant les besoins métier existants, dans l'étape 2 suivante, il s'agit donc d'identifier les services web candidats pouvant spécifier ces besoins d'une part comme cela a été indiqué par la figure 4.15, et d'autre part considérer les cas manquants ou incohérents de ces besoins vis-à-vis de la nouvelle vision de supervision. En d'autres termes, il s'agit aussi de considérer et traiter les cas d'usage des services web non encore élicités lors de la phase 1.

IV.2. Étape 2 : Identification des besoins et des acteurs de l'organisation

Une fois les usages recueillis à travers des scénarios bien ciblés, ils sont analysés afin de déduire ou d'extraire différents besoins vis-à-vis de l'IHM de supervision, notamment vis-à-vis des services web à concevoir ou à développer d'une part et vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives d'autre part. Par la suite, ces besoins sont traduits en spécifications fonctionnelles ou fonctionnalités d'IHM de supervision.

Expression des besoins en termes de services web

Les besoins métier sont exprimés à l'aide de cas d'utilisation de services métier (figure 4.16). Ces besoins expriment des scénarios sous forme de cas d'utilisation UML.

Les cas d'utilisation expriment essentiellement les fonctionnalités voulues et recherchées. Ces scénarios sont explicités d'une façon détaillée grâce aux scénarios nominaux et alternatifs des cas d'utilisation. Par contre, les diagrammes de séquence associés aux scénarios permettent de décrire et d'expliciter clairement les interactions entre différentes entités et/ou acteurs. En effet, le sens, le type (asynchrone, synchrone) et le nom des messages échangés sont bien représentés. Par conséquent, nous pouvons modéliser les services web au niveau métier à l'aide de cas d'utilisation métier d'une part et au niveau interaction de ces services métier à l'aide d'échanges de messages d'autre part. Ces messages correspondent aux opérations de services web composant les services métier interagissant avec les différents éléments/composants de l'IHM. Par contre un diagramme d'activité correspondant à un processus métier (ensemble de services métier) permet de modéliser le workflow d'activités liées aux services web métier.

Afin d'exprimer les besoins déjà recensés à l'aide de services web, nous devons identifier les services web candidats associés aux services web métier (figure 4.15). Nous procédons comme suit (figure 4.19) :

1. Pour chaque cas d'utilisation d'un package ou modèle de services métier (figure 4.18) lequel exprime des scénarios nominaux (pour un premier temps) associé à un diagramme de séquence,
   1.1. Considérer chaque enchaînement ou action du scénario nominal,
   1.2. Extraire ou identifier des services web candidats comme expliqué précédemment,
2. Répéter le processus pour chacun des packages de services métier.

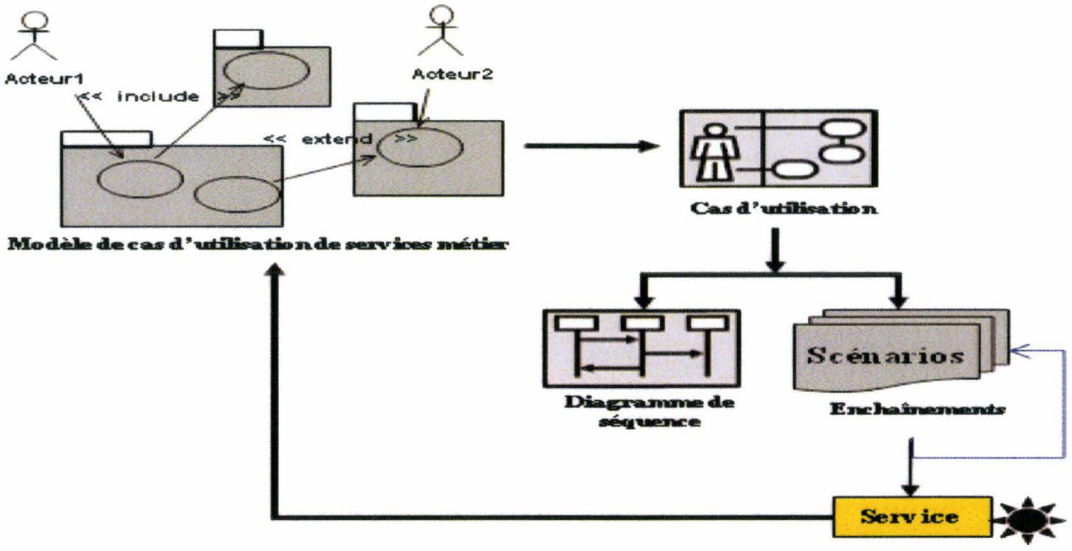

Figure 4.19. Processus d'expression des besoins à l'aide de services web

Notons que le nombre de services web candidats dépend du niveau de détail des enchaînements du scénario. Ceci correspond à la granularité des services web.
Par ailleurs, l'étude des cas d'utilisation permet aussi de faire ressortir les principaux objets métier de l'IHM de supervision, tels que : les alarmes, les synoptiques, les sections de supervision, etc.

A l'issue de l'identification de l'ensemble des services web candidats exprimant les besoins métier (figure 4.19), nous obtenons un modèle de cas d'utilisation exprimant ou décrivant l'ensemble des services web des opérations associées comme illustré par la figure 4.20.

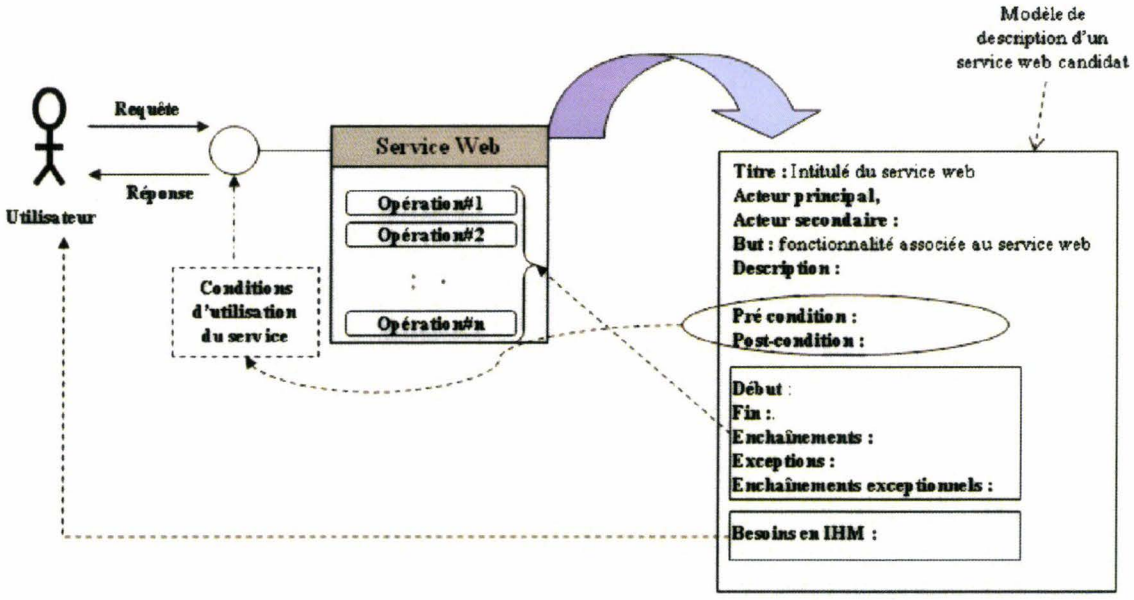

Figure 4.20. Expression des services web candidats à l'aide d'opérations de services web

Dans cette première partie de la phase 2, nous avons montré comment les besoins métier extraits des scénarios métier existants pouvaient être décrits ou exprimés à l'aide de services web. A présent, il s'agit d'identifier des besoins et des acteurs impliqués dans l'organisation complexe considérés dans la nouvelle vision de la supervision. Cette nouvelle vision vise particulièrement l'expression des besoins en termes de services web vis-à-vis de la mobilité des acteurs humains et des tâches coopératives à travers de nouveaux scénarios de supervision. En effet, le nombre d'acteurs impliqués devient de plus en plus croissant, nécessitant donc assez souvent une mobilité, une forte et exigeante coopération entre ces derniers. Les systèmes de supervision sont devenus des systèmes coopératifs au sens de [Delotte, 06, David *et al.*, 06] où un système coopératif doit permettre à un collectif d'acteurs de travailler ensemble en situation de mobilité via une infrastructure informatique.

Par ailleurs, à travers notre démarche, nous voulons mettre la supervision au cœur de l'organisation, en permettant à un ensemble d'acteurs humains d'interagir avec des processus métiers ; il devient possible d'apporter de nombreuses possibilités de visualisation ou de vues de l'entreprise selon les besoins et les objectifs de chaque acteur dans un environnement favorisant une vue unifiée de l'IHM de supervision [Idoughi et Kolski, 07].
L'application web de supervision consultée par un acteur humain résulte en fait de la mise en œuvre de fonctionnalités pouvant être assemblées et développées en interne à l'entreprise dans l'objectif d'intégration d'applications d'entreprise, de personnes et de process, et en externe dans le cas de la supervision multi-sites par exemple ou d'ouverture de l'entreprise à l'extérieur pour ses partenaires et fournisseurs (figure 4.21). Ces fonctionnalités sont exposées sous forme de services web comme cela a été expliqué auparavant. Ceci va permettre de satisfaire des nouveaux besoins de travail des différents acteurs humains notamment en mobilité.

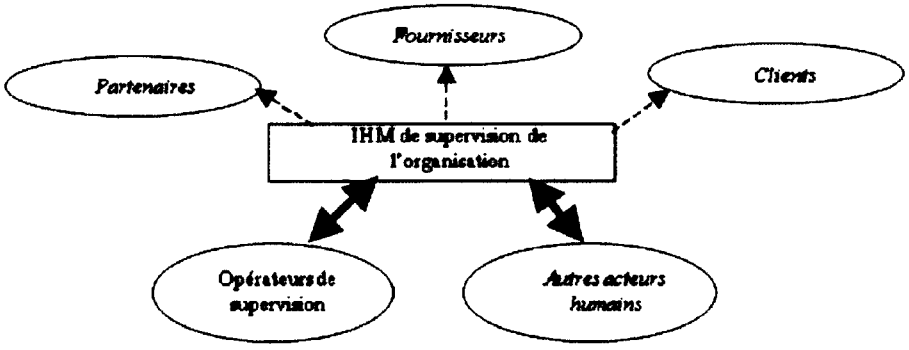

Figure 4.21. IHM de supervision au cœur de l'organisation globale

Expression des besoins vis-à-vis de la mobilité des acteurs humains

Dans une optique d'une IHM destinée à des acteurs nomades ou non, celle-ci consiste en un ensemble de services web dédiés à la supervision et à la communication (interaction) entre ces différents acteurs humains constituant l'organisation, indépendamment de leurs lieux géographiques et de leurs moyens d'accès à ces services. Ces acteurs devraient pouvoir accéder à l'information fournie par les services web à tout moment, de partout et quel que soit le périphérique d'accès utilisé.

Par conséquent, considérer l'IHM de supervision totalement (ou presque) dédiée à la supervision en salle de contrôle n'est souvent plus approprié au contexte d'une organisation complexe comme expliqué ci-dessus. Notre contribution vise à pallier cela et aller au-delà en investiguant et étudiant des aspects complémentaires de l'IHM classique de supervision (phase 1). Nous partons d'un contexte local classique de supervision à un contexte plus large et complexe d'une part et des activités à l'intérieur des salles de contrôle vers des activités à l'extérieur de la salle de contrôle et au-delà d'autre part. Nous considérons les aspects de mobilité des acteurs humains à travers l'usage des technologies de l'information et de la communication mobile, leur besoins et objectifs comme expliqué ci-après.

La notion de mobilité recouvre plusieurs réalités au sein de l'organisation globale. Plusieurs profils d'acteurs humains mobiles coexistent, avec des besoins différents. Certains d'entre eux sont totalement nomades, tandis que d'autres partagent leur temps entre salle de contrôle et le terrain (au pied du ou des process et de machines). On a aussi à considérer la mobilité intra-entreprise des collaborateurs se déplaçant souvent au sein même du site de la société. La mobilité extra-entreprise concerne les acteurs nécessitant un accès au système de l'entreprise de l'extérieur.

La principale préoccupation des acteurs mobiles est donc le caractère temps réel de l'information de supervision qu'ils échangent soit localement ou à distance à travers divers moyens de communication.

Il est clair que dans de nombreuses entreprises, les fonctions élémentaires de périphériques mobiles, tels que : agenda, gestion de contacts et de messagerie, constituent encore actuellement l'utilisation principale dans le monde de l'entreprise, mais il est possible d'aller beaucoup plus loin que celles-ci dans le contexte d'une supervision étendue au sein de l'organisation. De nouvelles fonctionnalités peuvent ainsi être envisagées en lien avec le fait que les acteurs nomades munis de dispositifs d'accès équipés de fonctions de communication et de localisation par exemple peuvent être localisés à tout moment grâce aux systèmes de localisation [Olsen et Lind, 06]. Ces systèmes combinant les technologies de communication sans fil et les fonctions des systèmes d'information géographiques exploitent les informations de positionnement pour assister les acteurs mobiles [David *et al.*, 06] ; par exemple : trouver des utilisateurs mobiles dans le voisinage d'une zone donnée, recevoir des alertes basées sur la proximité de certaines localisations et des événements.

Les scénarios d'usage des périphériques mobiles équipés d'une connexion avec ou sans fil peuvent donner lieu à des applications ou des fonctionnalités de supervision très variées pouvant être exprimées à l'aide de services web [Idoughi et Kolski, 06a].

Dans cette étape, il s'agit donc de considérer de nouveaux scénarios exprimant de nouveaux besoins donnant lieu à de nouvelles fonctionnalités à exposer sous forme de services web (figure 4.22). En d'autres termes, il s'agit d'identifier ou d'extraire à partir des besoins déjà exprimés (à partir des cas d'utilisation de services web métier) ou non toutes les situations mettant en avant des scénarios de mobilité des acteurs humains avec leur contexte d'utilisation.

Par ailleurs, il s'agit aussi d'identifier les acteurs humains (voir plus loin) qui sont soit, nomades, soit non nomades mais susceptibles de le devenir si on envisageait de les équiper de moyens adéquats.

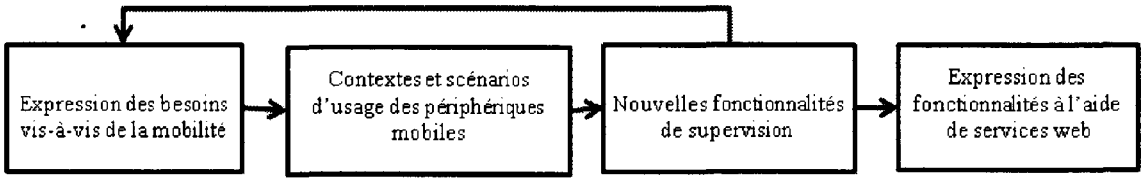

Figure 4.22. Processus d'expression de la mobilité de supervision à l'aide de services web

La figure 4.22 ci-dessus laisse envisager des potentialités de scénarios de mobilité d'acteurs humains selon les cas de figure suivants :

- L'acteur humain se déplace et exécute certaines de ses tâches de supervision à partir de différents postes fixes (en salle de contrôle par exemple) avec un accès réseau, assez souvent local, mais sans appareils mobiles en sa possession,
- L'acteur humain se déplace avec un terminal mobile à la main dans certains secteurs ou zones de l'entreprise ; parfois l'acteur humain (collaborateur) se trouve à extérieur de l'entreprise.
- Une autre catégorie d'acteurs peut aussi accéder au système d'information global de leur entreprise lors d'un déplacement par exemple à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entreprise.

Les scénarios de mobilité possibles peuvent être définis suivant les types de besoins suivants : accès uniquement près de l'automate ou de l'équipement, accès à tout un atelier ou toutes les machines du site, accès à un ou plusieurs sites à distance, etc.

Par ailleurs, comme nous l'avons souligné dans le chapitre 1, la problématique de la supervision des acteurs humains en situation de mobilité est souvent couplée à la prise en compte du contexte de travail [Delotte, 06]. D'une manière générale, dans l'approche proposée, nous pouvons considérer le contexte de supervision suivant les possibles définitions données respectivement par [Schilit *et al.*, 94 ; Brown *et al.*, 97 ; York *et al.*, 04], où l'utilisation et le contexte dans une fonctionnalité de mobilité représentent une combinaison de la tâche et de l'environnement dans lequel elle est exécutée. Par conséquent, en plus de capter les besoins des acteurs humains vis-à-vis de leur mobilité, il est aussi nécessaire de capter les éléments pertinents, relevant du contexte du travail ou de la tâche qu'un utilisateur est en train d'exécuter [Pascoe *et al.*, 00] à l'aide de certains mécanismes de communication pouvant échanger l'information de contexte entre les capteurs de contextes et les applications mobiles par exemple [Keller *et al.*, 03]. En effet, la notion de contexte d'usage est utile à différents niveaux en rapport avec la mobilité en supervision comme cela a aussi été souligné pour d'autres domaines d'applications [Want *et al.*, 92 ; Long *et al.*, 96 ; Brown *et al.*, 97; Dey *et al.*, 97 ; Kindberg et Bartonn., 99 ; Kortuem *et al.*, 99; Davies *et al.*, 99; Pascoe *et al.*, 00 ; Arbanowski *et al.*, 00 ; Newcomb *et al.*, 03 ; Fithian *et al.*, 03 ; Hariri *et al.*, 05].

La figure 4.23 illustre le concept d'IHM sensible au contexte inspiré par les travaux de [Dey, 00].

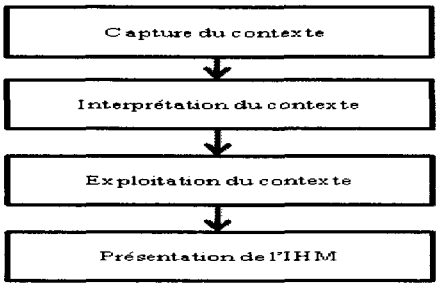

Figure 4.23. IHM sensible au contexte [Dey, 00]

La plasticité des IHM ou leur capacité à s'adapter à leur contexte d'usage dans le respect de leur utilisabilité [Thévenin et Coutaz, 99 ; Calvary *et al.*, 01, 04], a été aussi la préoccupation de beaucoup de travaux de recherche notamment ceux de [Thévenin, 01 ; Keidl et Kemper, 04 ; Pashtan *et al.*, 04 ; Maamar *et al.*, 05 ; Lopez-velasco *et al.*, 05; Rey, 05]. Tous mettent en évidence trois dimensions de l'adaptation qui sont : l'utilisateur (caractéristiques personnelles, préférences,...), le dispositif (contraintes matérielles et logicielles) et l'environnement.

Par conséquent, tous les éléments pertinents relatifs à la notion de mobilité mis en avant précédemment peuvent être pris en compte dans un scénario de mobilité comme illustré par la figure 4.24.

Une même opération peut avoir différents types de résultats selon l'utilisateur ou consommateur du service web et le contexte d'exécution. Au moment de la spécification des opérations des web services, il faut donc définir les différents contextes d'usage afin de modéliser les paramètres nécessaires. Une fois paramétrée, l'opération doit être capable de tenir compte de son contexte d'exécution pour adapter son comportement : c'est le concept de *context-awareness*. Ceci fait actuellement l'objet de certaines de nos perspectives de recherche (cf. chapitre 6).

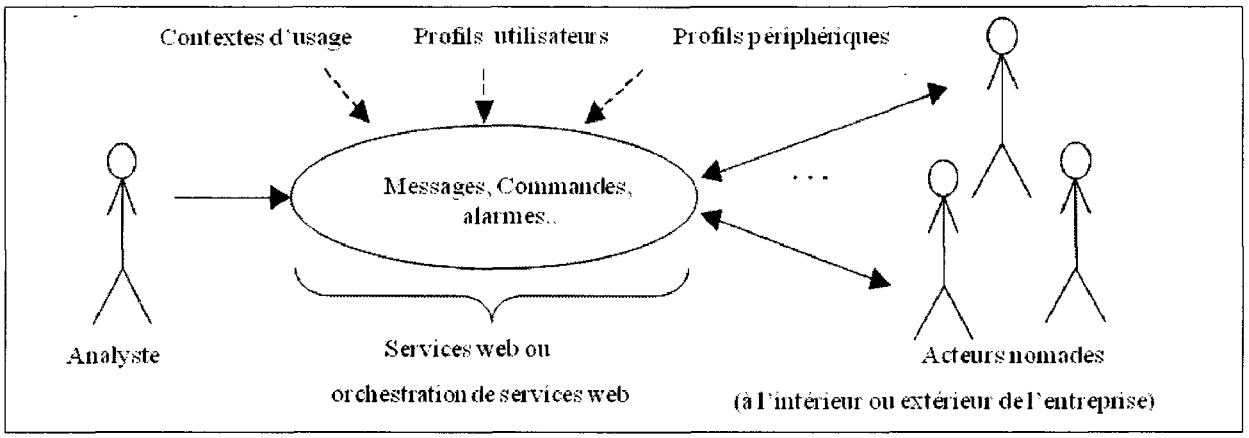

Figure 4.24. Approche globale d'identification de scénarios de mobilité

L'expression des fonctionnalités dédiées mobilité en termes de services web nécessite la prise en compte des éléments caractérisant l'aspect de la mobilité des acteurs humains. Ces éléments consistent en un ensemble d'informations décrivant ou définissant le contexte de mobilité des

acteurs humains vis-à-vis de l'utilisation des services web de supervision. Nous nous inspirons des travaux de [Bonnet, 03] pour définir la structure des paramètres au format XML à utiliser pour la définition des types de données échangés lors des messages correspondant aux opérations des services web dans le document WSDL (description des services web).

Il s'agit d'un ensemble de paramètres décrivant les différents usages du service, tel que pour un contexte d'exécution ou d'usage identifié, on accède aux référentiels de paramètres afin de récupérer l'ensemble des paramètres à utiliser. Ainsi, les messages XML correspondant aux flux d'entrée ou de réponse échangés par les services web dédiés mobilité disposent d'un entête. La structure de cet entête peut contenir par exemple : l'identification du service, l'identification du contexte d'exécution ou d'utilisation, l'identification du profil utilisateur, l'identification de l'utilisateur, l'identification du périphérique utilisé, etc.

La figure 4.25 montre qu'un service web dédié mobilité peut être paramétré en tenant compte du contexte d'usage, dépendant lui-même du profil des acteurs humains et du profil des dispositifs d'accès aux services web.

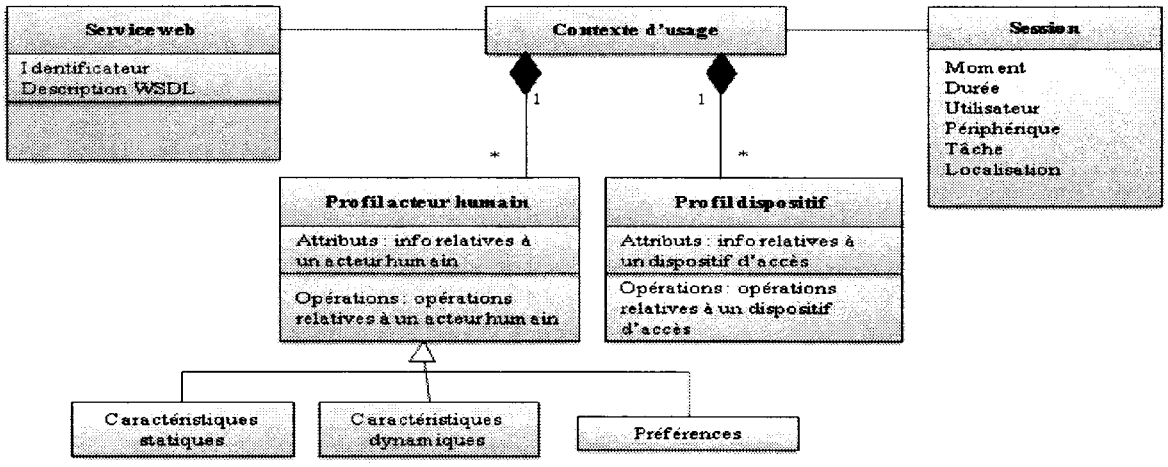

Figure 4.25. Expression des services web dédiés mobilité (d'après [Bonnet, 03])

Les caractéristiques statiques correspondent aux informations relatives aux acteurs humains dont les valeurs ne changent pas dans le temps telles que le nom, prénom, etc.
Les caractéristiques dynamiques correspondent aux informations relatives aux acteurs humains dont les valeurs peuvent changer dans le temps telles que la localisation, planning d'astreinte, tâches, etc.

Enfin, les caractéristiques de préférences correspondent aux informations relatives aux acteurs humains dont les valeurs représentent des préférences de personnalisation telles que la langue utilisée, le dispositif d'accès, l'outil de notification lui permettant d'être contacté (ex. email, téléphone, etc.), etc.

Toutes ces informations peuvent être décrites sous forme de fichier XML dont des extraits sont donnés en figure 4.26.

```
<Caractéristiques-statiques Id-Utilisateur = « ... »>
        Nom = « ... », Prénom = « ... », ... Langue = « ... »
...
<\Caractéristiques-statiques>
<Caractéristiques-dynamiques Id-Utilisateur = « ... »>
        Localisation = « ... »,
...
<\Caractéristiques-dynamiques>
<Préférences Id-Utilisateur = « ... »>
        Préférence 1 = « ... », Préférence 2 = « ... », ...
<\Préférences>
<Caractéristiques Périphérique Id-Périphériques = « ... »>
        Taille-écran = « ... », réseau = « ... », ... Système-exploitation = « ... »
...
<\Caractéristiques-Périphériques >
<Contextes>
        <Éléments contexte> ... <\Éléments contexte>
...
<\Contextes >
```

Figure 4.26. Exemple d'extraits de définition XML de paramètres relatifs à la mobilité des acteurs humains

Expression des besoins vis-à-vis des tâches coopératives des acteurs humains

En plus des nouvelles tâches induites suite à la mobilité des acteurs humains au sein de l'organisation complexe, il peut exister aussi de nombreuses autres tâches de supervision pouvant être accomplies au niveau de l'organisation d'une façon collaborative et collective. Ceci nécessite donc une coopération entre différents acteurs. Par conséquent, cette étape concerne l'allocation de tâches et de fonctions aux différents acteurs humains d'une part, l'expression de ces tâches coopératives à l'aide de services web d'autre part.

Sachant que les informations nécessaires à une supervision sont devenues désormais distribuées, et que l'accès à l'information (et son traitement) se font souvent dans des lieux différents comme nous l'avons souligné dans le chapitre 1, dans certaines situations inhérentes aux tâches de supervision, les acteurs humains ont recours à un travail coopératif dans le cadre de la résolution de problème par exemple. Nous avons vu aussi (cf. chapitre 1, §II.7) qu'il était possible de situer un système Homme-Machine selon un contexte coopératif. Par conséquent, la nouvelle supervision vue sous l'angle du travail coopératif doit permettre de nouveaux modes de travail dans ce sens.

Ceci laisse envisager de nouveaux scénarios de supervision exprimant des besoins en lien avec le partage d'informations entre différents systèmes existants et au sein de l'organisation (figure 4.27). Cette forme de coopération suppose que l'information demeure en permanence disponible et peut être consultée depuis n'importe quel dispositif d'accès équipé d'un navigateur. Chaque acteur devrait pouvoir intervenir en temps réel en fonction de son profil dans une optique de coopération.

Par exemple, des flux d'information pouvant être partagés par tous les services d'entreprise devraient permettre une meilleure coopération entre les acteurs relevant de l'administration ou du management avec ceux de la production.

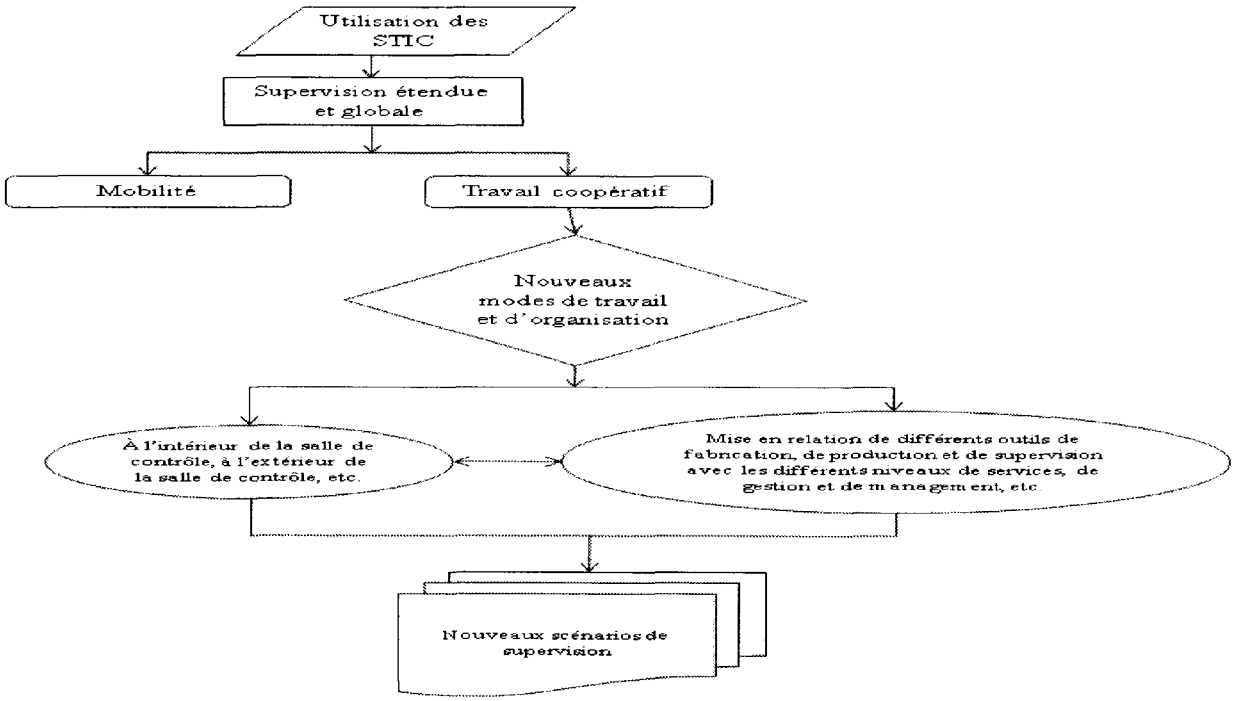

Figure 4.27. Approche globale d'identification de scénarios de travail coopératif

Par conséquent, dans l'approche proposée, il est nécessaire de considérer ces nouveaux scénarios exprimant de nouveaux besoins afin de les exprimer à l'aide des services web suivant le processus donné par la figure 4.28.

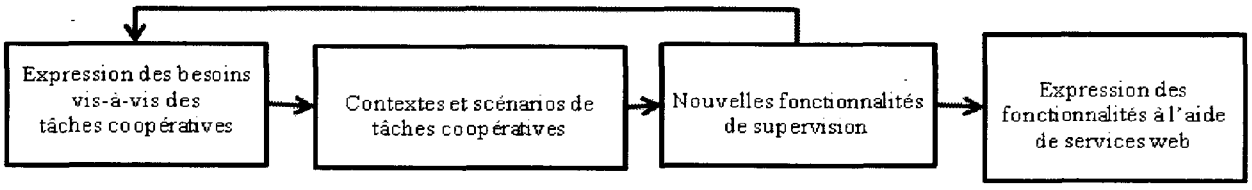

Figure 4.28. Processus d'expression des tâches coopératives de supervision à l'aide de services web

L'expression de ces tâches coopératives en termes de services web est conduite de telle sorte que celles-ci soient considérées comme des services web de forte granularité pouvant être décomposés en services web de granularité inferieure (ou faible) orchestrés : un acteur humain intervient en fonction de son profil dans une optique de coopération sur ces services web réalisant ainsi la fonctionnalité du service web composite, comme illustré par la figure 4.29.

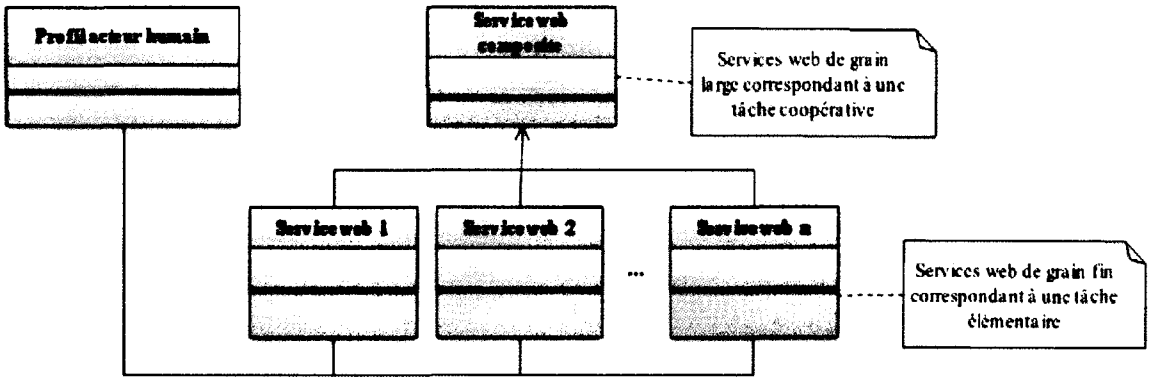

Figure 4.29. Expression des tâches coopératives de supervision à l'aide de services web

Définition des acteurs humains impliqués dans un processus métier de supervision

Lors de la phase 1 (analyse des utilisateurs), une partie des acteurs humains relevant des processus métier de supervision existants est identifiée. D'autres acteurs devraient être aussi identifiés lors de l'expression des besoins vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives.

Les différents membres de l'organisation disposant d'un accès distant et en temps réel à l'ensemble des informations et applications du système global de l'organisation peuvent être des acteurs humains nomades potentiels.

La figure 4.30 donne un diagramme de classes correspondant ou modélisant l'ensemble des acteurs humains de l'organisation selon un ensemble de profils d'acteurs. Cet ensemble de profils couvre tous les profils d'acteurs pouvant être impliqués dans un processus métier de la supervision exprimé à l'aide de services web liés à des conditions d'utilisation.

Ainsi, les profils utilisateurs peuvent être localisés dans un référentiel pouvant contenir des informations telles que : nom, prénom, planning d'astreinte, droit d'accès, codes d'accès, etc. Ceci rend possible un mécanisme de personnalisation permettant la découverte et l'utilisation des services web satisfaisant les spécifications et les besoins utilisateurs. D'une manière similaire, les profils de dispositifs d'accès peuvent être localisés dans un référentiel de profils technologiques où un utilisateur peut utiliser plusieurs types de périphériques disponibles. Ceci peut être lié à la notion d'adaptabilité (ou de plasticité des IHM) introduite précédemment[26] et traitée particulièrement dans [Hariri *et al.*, 07].

[26] Notons que le concept d'adaptation de services web à l'utilisation est traité dans [Keidl, 04 ; Pashtan, 04 ; Maamar, 05 ; Lopez-velasco, 05].

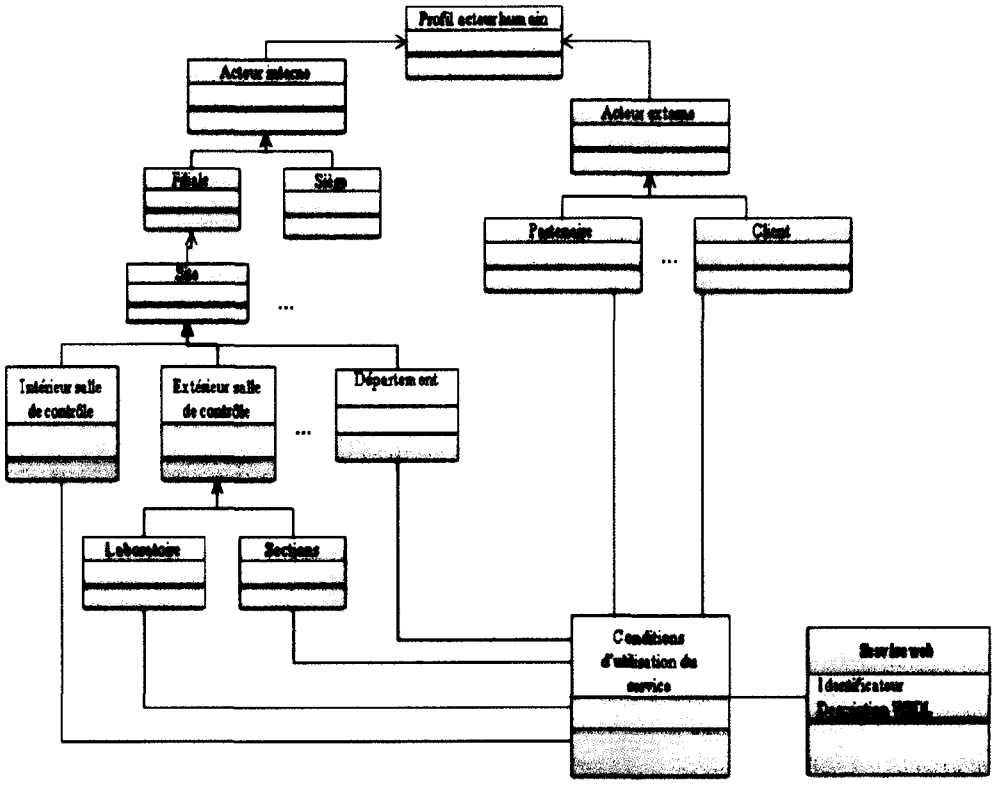

Figure 4.30. Diagramme de classes représentant les acteurs humains impliqués dans l'organisation complexe (inspiré de [Bonnet, 03])

IV.3. Conclusion sur la phase 2

Partant d'un premier ensemble de cas d'utilisation métier de supervision en lien avec les principaux acteurs métier impliqués dans l'organisation existante et exprimant les premiers besoins métier vis-à-vis de l'IHM de supervision visée, une 2ème analyse de ces besoins est nécessaire afin de capter d'autres besoins manquants, et d'identifier d'autres acteurs humains potentiellement concernés. Ensuite, il faut transformer ces besoins en fonctionnalités d'IHM de supervision. Ces besoins doivent être exprimés en termes de services web vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives des acteurs humains. Deux étapes sont nécessaires. La première étape vise d'abord à catégoriser les services web métier identifiés lors de la phase précédente et relatifs aux cas d'utilisation métier et d'identifier des services web candidats exprimant une ou plusieurs opérations. Cette étape donne lieu à des packages ou modèles de cas d'utilisation de services métier contenant des fonctionnalités métier de supervision exprimant donc les différents besoins de l'organisation existante. Ces besoins peuvent être captés et recensés dans un référentiel de besoins exprimés à l'aide d'un modèle de cas d'utilisation.

L'étape 2 consiste à exprimer les besoins identifiés en termes de services web d'une part et de capter d'autres besoins vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives des acteurs tout en identifiant aussi d'autres acteurs impliqués dans des scénarios de mobilité et de coopération de tâches.

V. Description de la phase 3 : spécification et conception de l'IHM

Cette phase consiste à spécifier puis concevoir des IHM de supervision exposant sous formes de services web des fonctions dédiées (fonctionnalités) contenant les traitements métiers des différents modules applicatifs. Plus précisément, dans le cadre de cette recherche, il s'agit de considérer la spécification de l'interaction homme-machine dans le cadre d'un processus métier de supervision d'une part (étape 1), de l'interface utilisateur d'autre part (étape 2), tout en mettant l'accent sur leur maquettage/prototypage (étape 3).

La figure 4.31 illustre un processus métier de supervision comme étant un ensemble d'opérations relatives à un flux d'activités faisant intervenir un à plusieurs services web (service web humain ou automatique) résultant de la phase 2 (voir aussi figure 4.17, phase 1, étape 1).

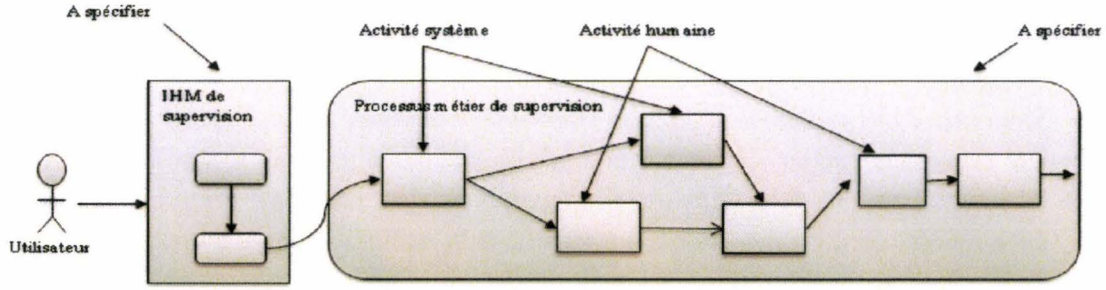

Figure 4.31. Niveaux de spécification de l'IHM dans le contexte d'un processus métier de supervision

V.1. Étape 1 : Spécification de l'interaction homme-machine

Dans cette étape, il s'agit de spécifier l'interaction homme-machine à base de services web. Ceci revient à décrire à l'aide d'une spécification des services web, l'ensemble du déroulement ou enchaînement des différents services discrets composant un processus métier de supervision (figure 4.31). En d'autres termes, nous cherchons à formaliser les flux des différentes tâches (humaines ou automatiques) impliquées dans la réalisation d'un service web métier à l'aide d'un formalisme emprunté d'une spécification standard de processus métier à base de services web (cf. chapitre 2).

Il s'agit notamment de considérer les aspects de spécification relatifs aux services web concernant la *communication entre différents services web* (envoi et réception de messages), leurs *tâches internes* (transformation, manipulation de données et appel à des applications), les *règles de dépendance entre les tâches* (séquence, choix, traitements conditionnels, synchronisation de tâches, traitements parallèles de tâches, etc.), en plus de la *gestion des événements et exceptions* pouvant exister lors de l'exécution, etc.

En effet, l'expression des aspects tels que : le synchronisme, le parallélisme, le séquencement des actions et les contraintes temporelles permettant de préciser les relations entre les actions, la séquence entre deux tâches (A puis B), l'alternative ou choix (A ou B), la composition de deux tâches dans un ordre quelconque (A et B), l'itération (A un certain nombre de fois), l'expression

de délais entre les tâches, etc., sont autant de critères importants relatifs à la spécification de l'IHM [Moussa *et al.*, 06].

Tous ces aspects caractéristiques de l'IHM de supervision visée peuvent être mis en avant lors de l'élaboration des différents scénarios de supervision qu'il y a lieu donc de spécifier avant de procéder à leur implémentation.

Pour la définition et l'orchestration d'un processus métier basé sur les services web, on peut s'inspirer entre autres de WS-BPEL[27] (Web Services Business Process Execution Language ; cf. www.oasis-open.org) (voir chapitre 2, §IV). C'est une spécification standard permettant de composer de multiples services synchrones et asynchrones en des flots de processus collaboratifs et transversaux.

Dans ce qui suit, nous présentons les principaux éléments nous permettant de spécifier l'interaction homme-machine de supervision.

Structure d'un processus métier de supervision exprimé à l'aide de services web
Un processus métier défini à l'aide de la spécification basée sur les services web est un conteneur où on peut déclarer principalement les relations avec les partenaires externes, déclarations de variables pour le traitement et la manipulation de données et les activités devant s'exécuter, etc. [www.oasis-open.org].

Un processus métier de supervision a la possibilité d'agréger des services web définissant la logique métier induite par l'interaction des services web entre eux (service composite). Chaque interaction d'un service web est considérée comme une communication avec un partenaire métier (service web externe). Cette interaction peut être considérée comme un canal de communication particulier et potentiellement bidirectionnel ; le processus invoque le partenaire externe et le partenaire invoque le processus. Nous schématisons cette interaction à l'aide de la figure 4.32.

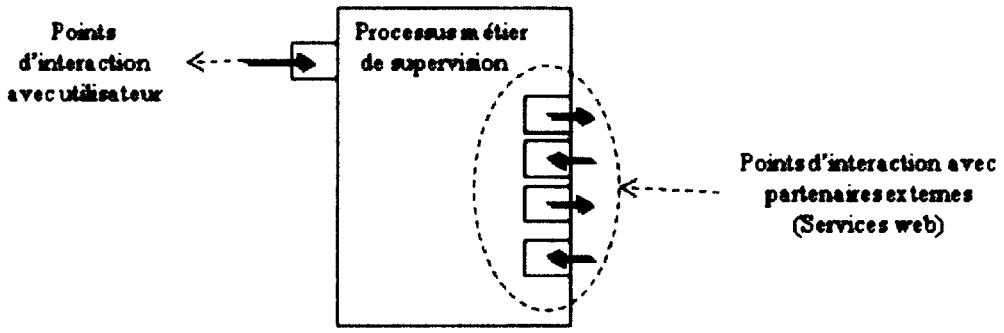

Figure 4.32. Schématisation d'une interaction d'un processus métier avec partenaires externes et utilisateurs

[27] WS-BPEL en remplacement de BPEL4WS (Business Process Execution Language for Web Services) : http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/Primer/wsbpel-v2.0-Primer.xxx, Mai 2007.

Les éléments définissant cette interaction correspondent aux participants ou liens partenaires du processus métier de supervision peuvent être le nom du participant et son rôle dans le processus. On peut distinguer deux types de liens partenaires : humains et automatiques.

Exemple de liens partenaires :
Line partenaire #1.
Acteur humain : « Superviseur_en_chef »
Rôle : « Lancer_opération_urgence »

Lien partenaire #2.
Service web : « Service_Maintenance »
Rôle : « Fournir_procédure »

Nous pouvons donner une représentation possible de la définition de liens partenaires comme suit (figure 4.33).

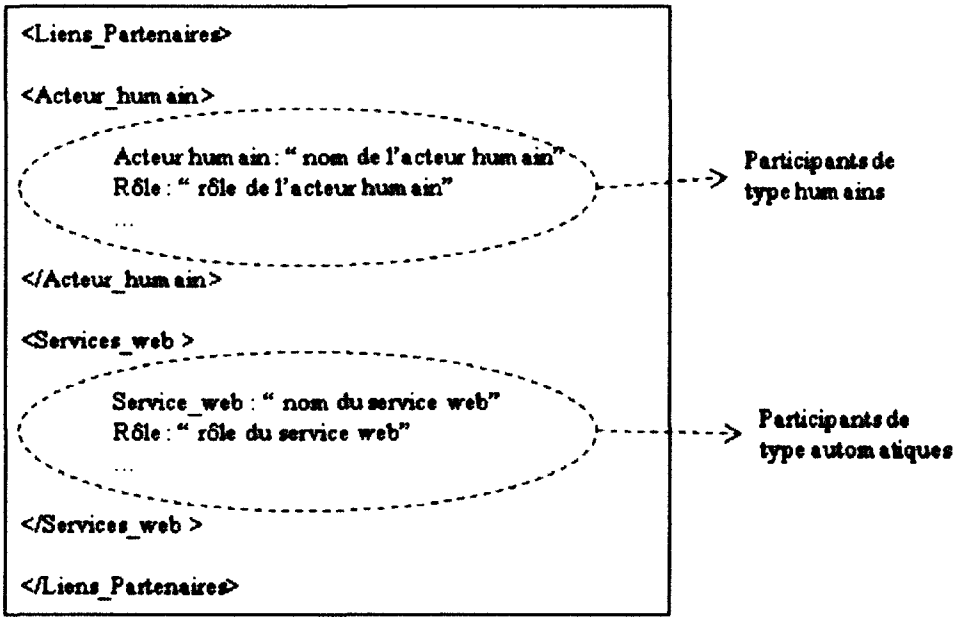

Figure 4.33. Définition du lien partenaire dans un processus métier

Par ailleurs, les interactions d'un processus métier de supervision avec les différents partenaires externes (services web) et utilisateurs traduisent les différents traitements et manipulations de variables déclarées au sein du processus métier (figure 4.34). Les données manipulées par ces variables correspondent principalement aux types de données et messages échangés entre les différents partenaires et le processus pouvant spécifier les différents besoins en informations exprimés (phase 2).

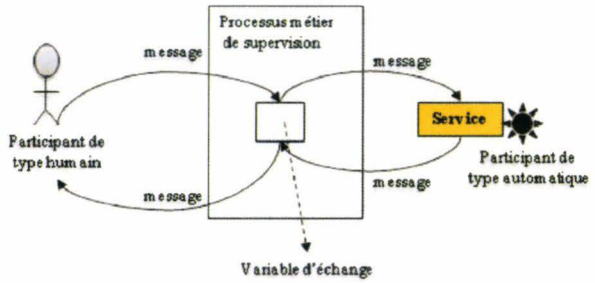

Figure 4.34. Représentation de variables d'échange de messages dans un processus métier de supervision (entre services web)

La figure 4.34 ci-dessus donne une représentation schématique d'un échange de message d'interaction entre deux services web partenaires permise par la spécification WS-BPEL (dont plus de détails sont donnés en annexe A).

Sans rentrer dans les détails de la spécification des variables et messages d'interaction, nous donnons uniquement des éléments de spécification abstraite ou générale qui sont les noms des variables, les messages échangés et les opérations invoquées.

Ainsi, nous pouvons donner une spécification possible de la définition de variables comme suit (figure 4.35).

```
<Définition>

<variables>
<variable nom = « nom de la variables » Typemessage  = « type de messages que la variable doit véhiculer »>
...
</variables>

<messages>
<message nom = nom du message
   <partie nom = nom de la partie, type= type de données/>
...
</messages>

<Service ="nom du service">
 <operation nom="nom de l'opération">
    <message en entrée="nom du message"/>
    <message en sortie="nom du message"/>
    <message erreur ="nom du message"/>
 </operation>
...
</Services>
</Définition>
```

Figure 4.35. Exemple de définitions des variables d'interaction dans un processus métier

Enfin, la spécification consiste aussi à définir le processus métier de supervision en termes de services web ainsi que l'ordre dans lequel sont exécutés les services web (exécution des opérations et interactions). Ceci est déduit à partir des résultats issus de la phase d'analyse des besoins exprimés sous forme de scénarios correspondant aux fonctionnalités de supervision (phase 2). Il s'agit donc d'arriver à spécifier le déroulement ou l'enchaînement des différents services web correspondant aux différentes activités de supervision considérées dans un scénario de supervision en termes d'éléments de spécification offerts.

La logique métier décrivant ou correspondant à l'exécution d'un processus métier de supervision peut être spécifiée à l'aide des deux principaux types d'activités (cf. chapitre 2, § IV) : activités de base et activités structurées.

En vue de spécifier l'interaction homme-machine de supervision à l'aide de services web, on préconise les activités suivantes :

- *recevoir une requête en provenance de partenaires externes* : elle permet à un processus métier de supervision de bloquer l'exécution et attendre l'arrivée d'un message. Cette interaction doit spécifier le lien partenaire, l'opération devant être exécutée par le service web partenaire ainsi que la variable (ou les variables) devant contenir les données requises et reçues (figure 4.36).

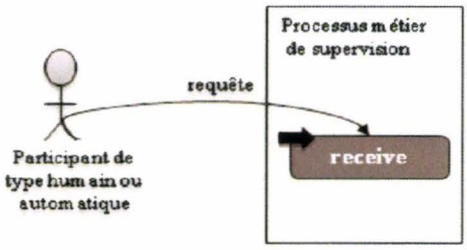

Figure 4.36. Représentation schématique pour recevoir une requête par un service web

- *répondre à une requête*, en jonction avec l'activité *recevoir une requête*, consiste à spécifier une opération de type requête-réponse permettant à un processus métier de supervision de recevoir ou retourner une donnée en réponse à une sollicitation de service. Cette interaction doit spécifier le lien partenaire et l'opération devant être exécutée par le service web partenaire ainsi que la variable (ou les variables) devant contenir les réponses requises (figure 4.37).

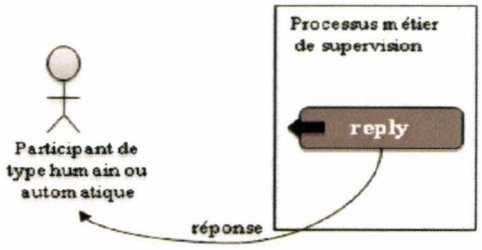

Figure 4.37. Représentation schématique pour répondre à une requête ou sollicitation de services web

- *invoquer une opération de service web*, consiste à appeler un service web fourni par un partenaire externe. Ceci permet à un processus métier de supervision d'appeler un service web en spécifiant le lien partenaire et l'opération devant être exécutée par le service web partenaire appelé (figure 4.38). Par ailleurs, l'opération invoquée par le processus métier peut être soit : (1) une opération unidirectionnelle (dans un seul sens) où le processus continue son exécution sans attendre la réponse du partenaire externe (service web asynchrone), ou (2) bidirectionnelle (requête-réponse), où le processus complet ou en partie est bloqué en attente d'une réponse du

partenaire externe (service web synchrone). Dans ce dernier cas, des variables d'entrée (input) et de sortie (output) sont nécessaires.

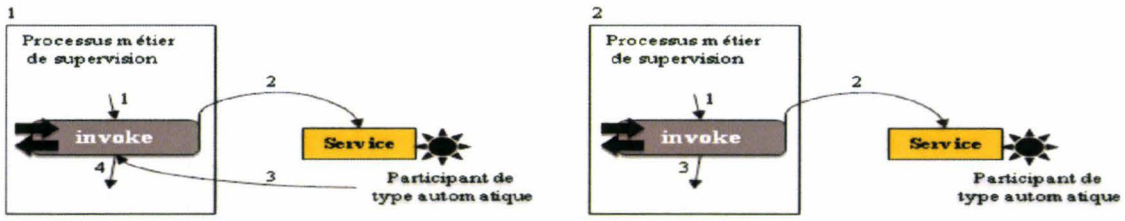

Figure 4.38. Représentation schématique pour invoquer une opération ou appeler un service web
1- synchrone, 2-asynchrone

Ainsi, on peut spécifier des fonctionnalités de synchronicité de l'interaction homme-machine de supervision. Ceci peut concerner par exemple : (1) des scénarios invoquant des services web (services web synchrones) nécessitant une réponse immédiate ou dans un délai fixé (pour spécifier ou modéliser une tâche utilisateur nécessitant une réponse dans un délai fixé de la part d'un autre utilisateur ou système, sinon la tâche échoue) ; (2) des scénarios invoquant des services web (services web asynchrones) nécessitant une exécution longue et qui ne sont pas tenus de répondre immédiatement ou dans un délai fixé.

Par ailleurs, nous pouvons spécifier l'interaction homme-machine de supervision nécessitant une structure complexe à l'aide des activités suivantes :

- *séquence d'activités ordonnées* : elle consiste à définir une collection d'activités devant être exécutées séquentiellement (figure 4.39).

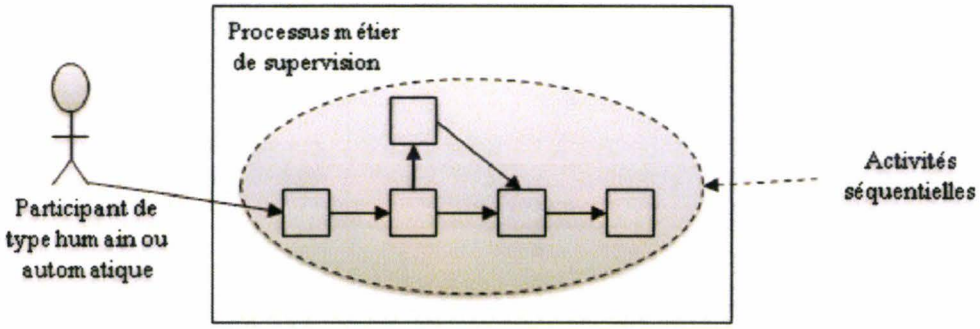

Figure 4.39. Représentation schématique de séquence d'activités ordonnées de services web

- *activité conditionnelle* : elle consiste à sélectionner une seule branche d'activités devant être exécutées parmi un nombre de choix possible. Pour chaque choix une condition est vérifiée et si elle évaluée à vraie, la branche d'activités associée est exécutée sinon une branche d'activités alternative est considérée (figure 4.40).

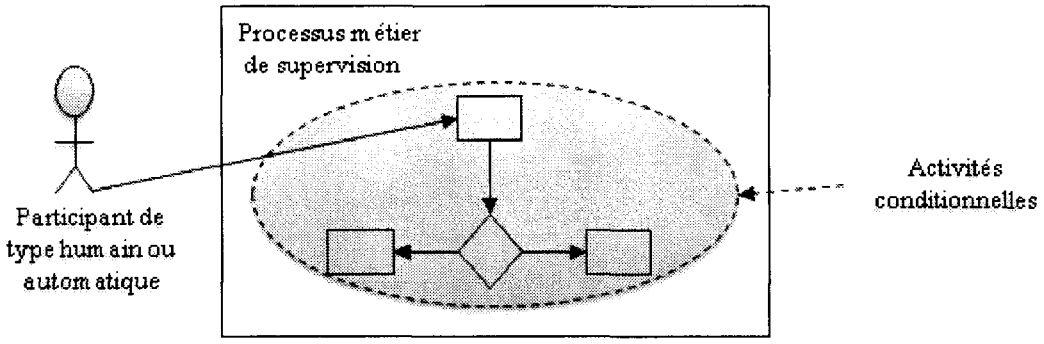

Figure 4.40. Représentation schématique de l'activité conditionnelle de services web

- activité *répétitive* : elle consiste à exécuter une activité itérative autant de fois que c'est nécessaire, c'est-à-dire tant qu'une certaine condition reste vraie (figure 4.41).

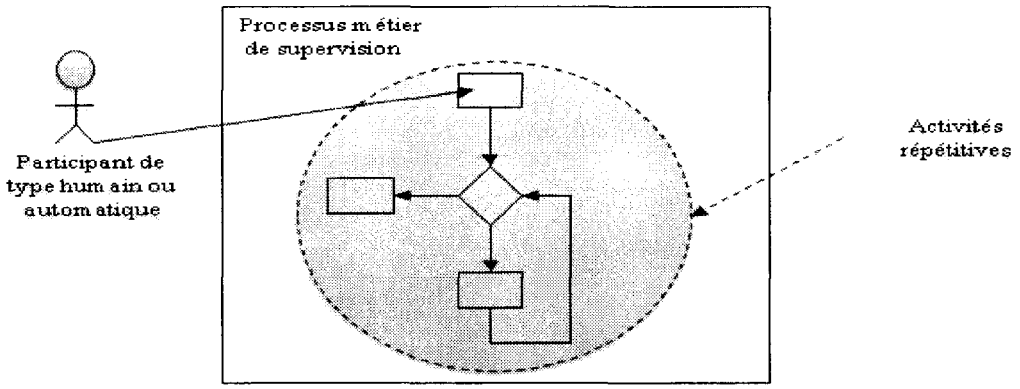

Figure 4.41. Représentation schématique de l'activité répétitive de services web

- *activité parallèle* : elle consiste à exécuter une activité de services web structurant un traitement parallèle d'un processus métier de supervision (figure 4.42). En d'autres termes, les services web correspondants sont invoqués d'une manière concurrente et synchronisée pour l'exécution de plusieurs tâches en même temps. Cela revient à rassembler ou collecter des informations de plusieurs sources asynchrones (services web asynchrones). Le processus métier peut alors invoquer plusieurs services web en même temps et reçoit les informations (réponses) comme elles arrivent.

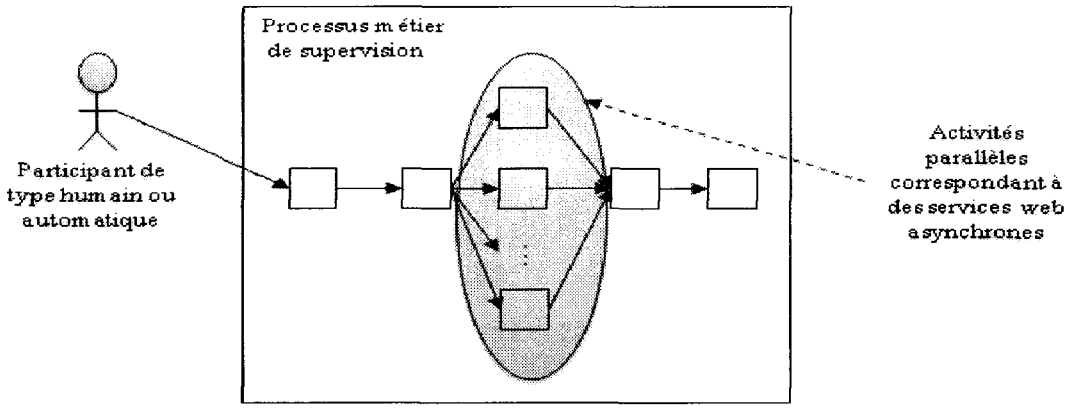

Figure 4.42. Représentation schématique de l'activité parallèle de services web

• *activité composée* : elle consiste à définir des groupements fonctionnels d'activités imbriquées de services web formant ainsi un bloc d'activités de différents types. Elle fournit le contexte d'exécution des activités incluses ou contenues dans ce bloc. Elle considère la logique métier d'une partie du processus avec leurs propres liens partenaires, échanges de messages, variables, gestionnaires d'erreurs, etc. (figure 4.43). Ainsi, on peut diviser un processus métier de supervision complexe en portions de processus contenant chacun une portion de la logique globale du processus métier.

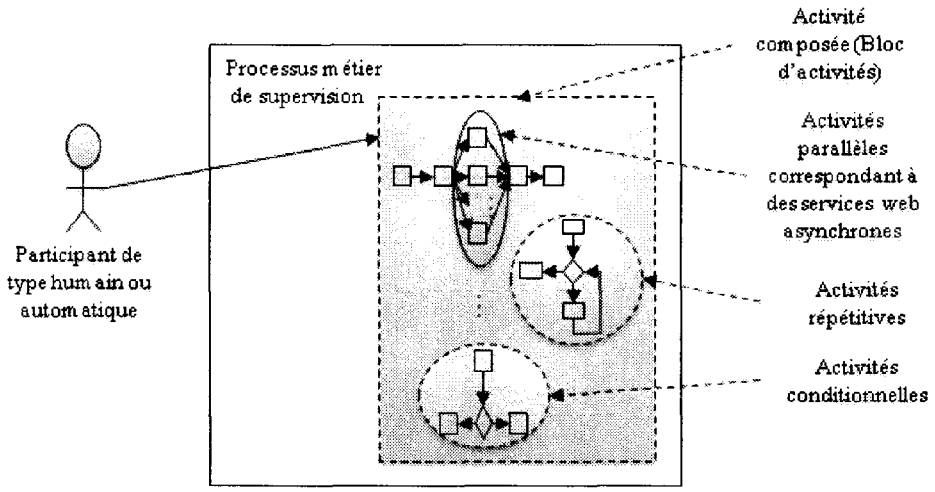

Figure 4.43. Représentation schématique d'une activité composée de services web

Gestion d'erreurs ou d'exceptions, des événements et dépassements de délais

La gestion d'erreurs ou d'exceptions dans un processus métier de supervision concerne le traitement de ces erreurs dans un contexte correspondant à une exécution anormale du processus. En effet, nous devons considérer des situations exceptionnelles pouvant apparaître durant le déroulement du processus tel que par exemple invoquer ou appeler un service web non disponible. A cet effet, nous préconisons un ensemble d'activités de services web spécifiques ou dédiées à la gestion des ces exceptions ou erreurs. La spécification WS-BPEL réalise cela à l'aide des constructeurs *<faultHandlers>*, <catch> et <catchAll> (voir Annexe A).

Par ailleurs, nous devons aussi considérer les situations relatives à l'apparition d'évènements pouvant être soit (1) contenus dans des messages correspondant aux opérations WSDL (l'évènement spécifié attend l'arrivée d'un message), ou (2) des alarmes survenant suivant les moments définis et spécifiés par l'utilisateur (déclenche l'exécution de l'évènement). La spécification WS-BPEL réalise cela à l'aide des constructeurs *<eventHandlers>*, *<onEvent>* et *<onAlarm>*.

Dans cette étape, nous avons présenté et décrit d'une façon très succincte mais représentative un ensemble d'éléments de spécification à base de services web nous permettant de considérer l'interaction homme-machine de supervision basée sur les services. Rappelons que les détails de la spécification WS-BPEL de laquelle nous nous sommes inspirés sont donnés dans l'annexe A.

Enfin et à titre illustratif, la figure 4.44 donne une représentation schématique d'un scénario de supervision pouvant être exprimé à l'aide des éléments de spécification à base de services web présentés précédemment.

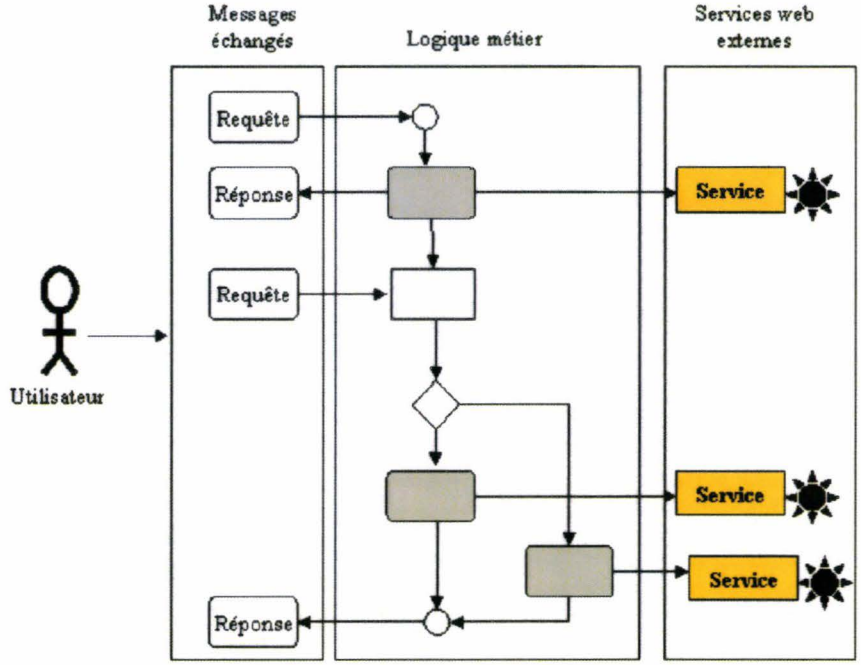

Figure 4.44. Représentation schématique d'un scénario de supervisons exprimé à l'aide des éléments de spécification à base de services web

Après avoir présenté et décrit les principaux éléments de spécification de l'interaction homme-machine de supervision à l'aide des services web, nous allons aborder dans l'étape suivante d'autres éléments permettant de spécifier l'interface utilisateur.

V.2. Étape 2 : spécification de l'interface utilisateur

L'étape 2 de spécification consiste à décrire les objets d'interaction correspondant aux différents services web métier de la supervision à l'aide d'une spécification permettant de créer des interfaces utilisateur pour services web (ou services web orientés présentation) (figure 4.45).

Dans la figure 4.45, on présente un service web caractérisé par une logique ou un aspect de présentation et une logique d'invocation. Dans ce cas, la spécification utilise le fichier WSDL décrivant le service pour pouvoir générer l'interface utilisateur de ce service web. La présentation du service web aux utilisateurs peut se faire par exemple à travers une mise en page des résultats de l'invocation du service web. On peut intégrer des éléments de spécification, dans la description du service web (WSDL), qui vont être associés aux éléments de l'interface utilisateur. Ainsi, nous nous inspirons des spécifications de services web orientées utilisateurs présentées au chapitre2 (§III).

Figure 4.45. Services web orientés présentation

Par ailleurs, ceci peut être aussi exprimé par la figure 4.46 en concordance avec ce qui a été aussi présenté au chapitre 2, section III. La figure 4.45 illustre ce qui suit :

- une requête à un service web met en avant l'objet interactif (composant d'interface) par le biais duquel la requête est faite (via HTTP) et le message en entrée est transmis à l'opération du service web invoquée (via SOAP), d'une part,
- une réponse du service web invoqué met en avant l'objet interactif par le biais duquel la réponse est faite (via SOAP) et le message en sortie ou résultat de l'opération invoquée (via http), d'autre part.

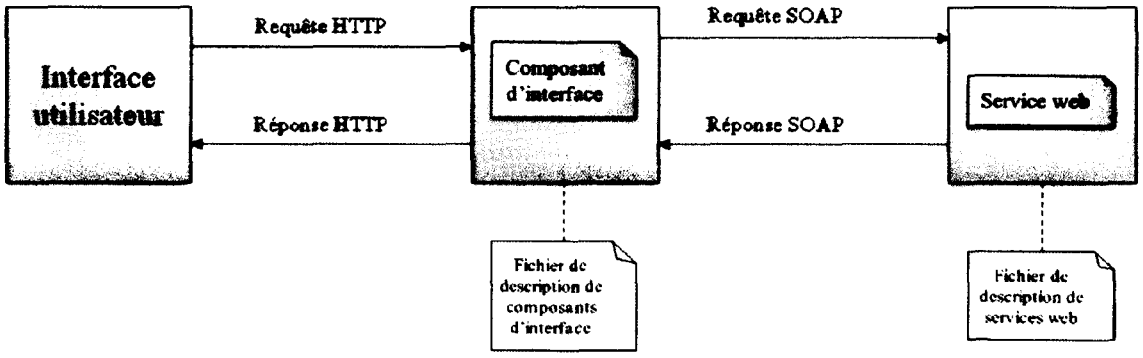

Figure 4.46. Niveaux de spécification de services web orientés présentation

Comme notre contribution se situe dans les phases amont de la spécification d'IHM, nous allons considérer la spécification de l'interface abstraite indépendamment des implémentations et des plateformes de déploiement.

Il est utile de préciser que les différentes spécifications décrites dans le chapitre 2 (§ III) découplent l'interface utilisateur abstraite de l'interface concrète. [Calvary *et al.*, 03] définit une interface concrète comme une expression de l'interface finale indépendamment de toute plateforme logicielle et matérielle au sein de laquelle elle peut être implémentée. Celle-ci peut être modélisée comme une agrégation d'objets interactifs concrets liés par des relations concrètes [Vanderdonckt et Coyette, 07].

Description des objets d'interaction

Nous avons vu que l'ensemble des objets d'interaction pouvaient être mis en évidence lors des phases 1 et 2 à travers des scénarios d'usage des services web métier. La description des objets d'interfaces associés aux objets du domaine métier de la supervision concerne les objets interactifs comme l'utilisateur les perçoit et les manipule.

Ces objets interactifs correspondent aux unités de présentation telles que les zones de saisie, zones de dialogue et zones d'affichage relatives à l'exécution d'une tâche interactive de supervision. Chacun de ces éléments peut être associé à un fragment d'un processus de supervision liant les activités de l'utilisateur au traitement logique de celui-ci (services web) que l'on peut déterminer ou obtenir à partir d'un arbre (modèle) de tâches du type CTT (figure 4.47).

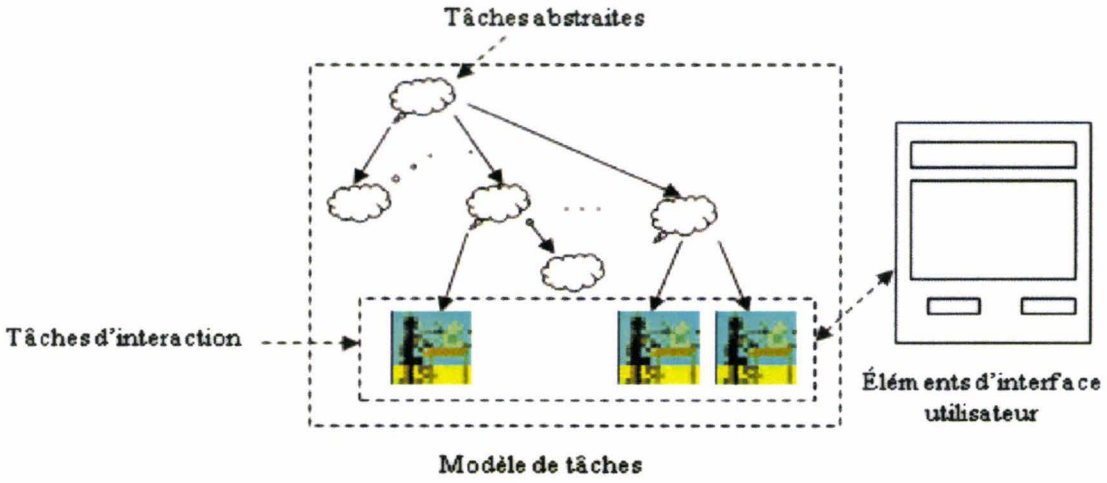

Figure 4.47. Extraction des éléments d'interface utilisateur à spécifier

Nous distinguons deux types d'éléments d'interface : un élément de gros grain représentant un élément composé ou agrégé tel qu'une page écran ou une page HTML par exemple ; et un élément de petit grain représentant un élément simple ou élémentaire tels que : un champ de saisie, un item de menu, etc.

Identification et modélisation de services web unitaires (élémentaires) et agrégés

Nous partons des objets les plus agrégés ou de haut niveau d'abstraction que nous exprimons à l'aide de services web agrégés, jusqu'aux objets les plus élémentaires que nous exprimons à l'aide de services web singuliers ou élémentaires identifiés lors des phases précédentes comme le montre la figure 4.48.

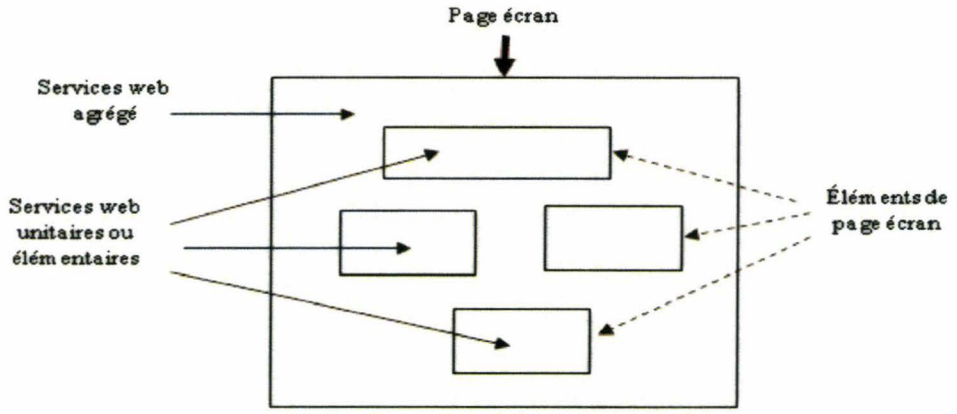

Figure 4.48. Exemple de représentation schématique de services web orientés interface utilisateur

La spécification à base de services web considère les composants d'interface utilisateur correspondant aux descriptions des messages (au format XML) échangés entre l'utilisateur et les services de supervision. Ceux-ci peuvent être traités au niveau d'un moteur de présentation et présentés finalement aux utilisateurs une fois implémentés. En d'autres termes, ceci correspond aux descriptions abstraites des éléments de l'interface pouvant être présentées à un utilisateur final sous une forme adaptée à la tâche.
La figure 4.49 illustre un exemple de spécification de l'interface utilisateur avec un affichage composé de quatre zones, devant être accédées par deux types (profils) d'utilisateurs.

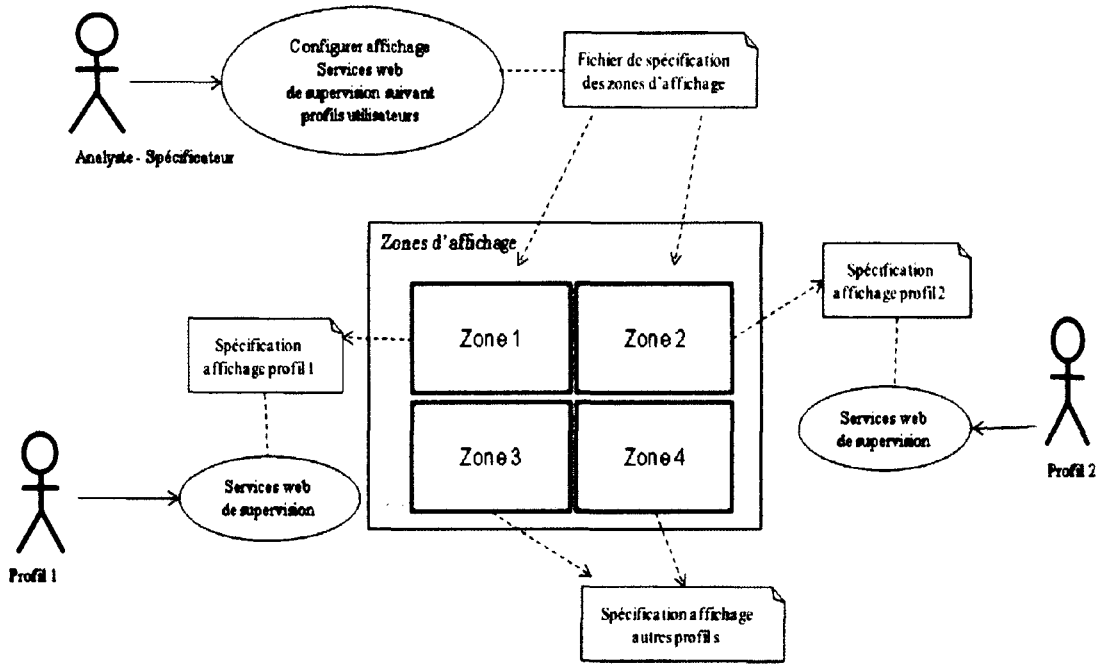

Figure 4.49. Spécification de l'interface utilisateur suivant le profil utilisateur, exemple avec un affichage composé de quatre zones, devant être accédées par 2 types (profils) d'utilisateurs

Dans ce qui suit, les services web orientés interface utilisateur vont être décrits de telle sorte qu'ils puissent être pris en charge par l'une des spécifications orientées présentations des services web standards telles que WSUI, WSRP, etc. (cf. chapitre 2) en vue de générer une interface concrète pouvant être implémentée ou déployée sur une plateforme spécifique ou cible.
Il s'agit donc de combiner les descriptions des services web en charge de la logique métier de l'IHM de supervision avec des informations relatives à l'interface utilisateur donnant une vue abstraite de celle-ci. En d'autres termes, la description du service web est augmentée des informations sur l'interface utilisateur en vue de générer des interfaces utilisateurs personnalisées ou concrètes.

La spécification se base sur ce qui suit : chaque interface utilisateur est liée (ou associée) à une opération décrite à l'aide de WSDL pouvant aussi engendrer plusieurs autres opérations WSDL. Ainsi les informations décrivant une interface utilisateur à l'aide de WSDL, peuvent concerner par exemple : les éléments de l'interface, leurs attributs et propriétés, la présentation des éléments, les différentes opérations sur les éléments, etc.

Les objets interactifs relatifs aux éléments de l'interface utilisateur peuvent être des composants graphiques individuels comprenant une abstraction d'un certain nombre d'objets interactifs usuels tels que, case à cocher, liste de sélection, bouton de commande, etc. Ces objets peuvent être adressés par des services web singuliers ou élémentaires. Comme ils peuvent être aussi des conteneurs graphiques comprenant une abstraction d'un certain nombre d'objets pouvant contenir des composants individuels tels que : pages, fenêtres, boites de dialogue, etc. [Vanderdonckt et Coyette, 07]. Ces objets seront associés aux services web agrégés ou composés (figure 4.50).

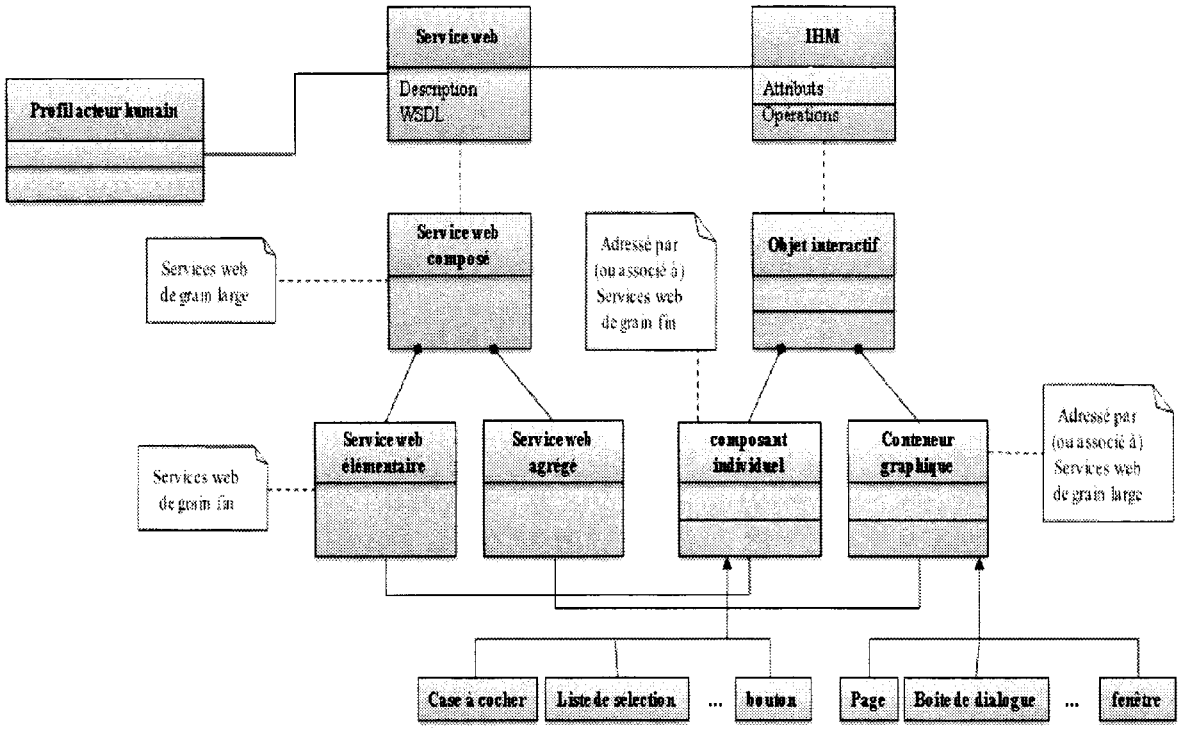

Figure 4.50. Diagramme de classe de spécification de l'interface utilisateur suivant le profil utilisateur

Le tableau 4.1 montre un exemple d'éléments d'interface avec leurs opérations respectives.

Eléments	Opérations
Page-Ecran	Visualiser_page_écran ()
Zone-écran	Visualiser_zone_écran ()
Liste	Lister_options()
Entrée_Nombre	Entrer_valeur_numérique()
Sortie_Nombre	Afficher_valeur_numérique()
Entrée_Texte	Entrer_valeur_texte()
Bouton	Exécuter_action()
Image	Représenter_information_graphique()

Tableau 4.1. Exemple d'éléments d'interface avec leurs opérations

Ainsi, d'après ce qui précède, on peut prévoir un nombre de sections nécessaires à inclure dans la description (ou dans le document) de spécification du service web d'interface utilisateur. Par

exemple, dans la figure 4.51 correspond à un exemple de description d'une interface utilisateur abstraite à l'aide de quatre sections :

- une section *Page* qui spécifie un ensemble de pages écrans, chacune spécifiant un ensemble d'opérations WDSL ou opérations de services web (ex. afficher_page(), ouvrir_page(), fermer_page(), etc.),
- une section *Éléments* qui spécifie un ensemble d'éléments d'interface utilisateur permettant de produire ou de générer l'affichage des éléments dans la page écran correspondante. On décrit plusieurs éléments par page écran avec leurs opérations respectives.
- une section *Opérations* qui spécifie des opérations permises sur les éléments d'interface,
- une section *Présentation* qui spécifie les aspects visuels ou de présentation des éléments.
- etc.

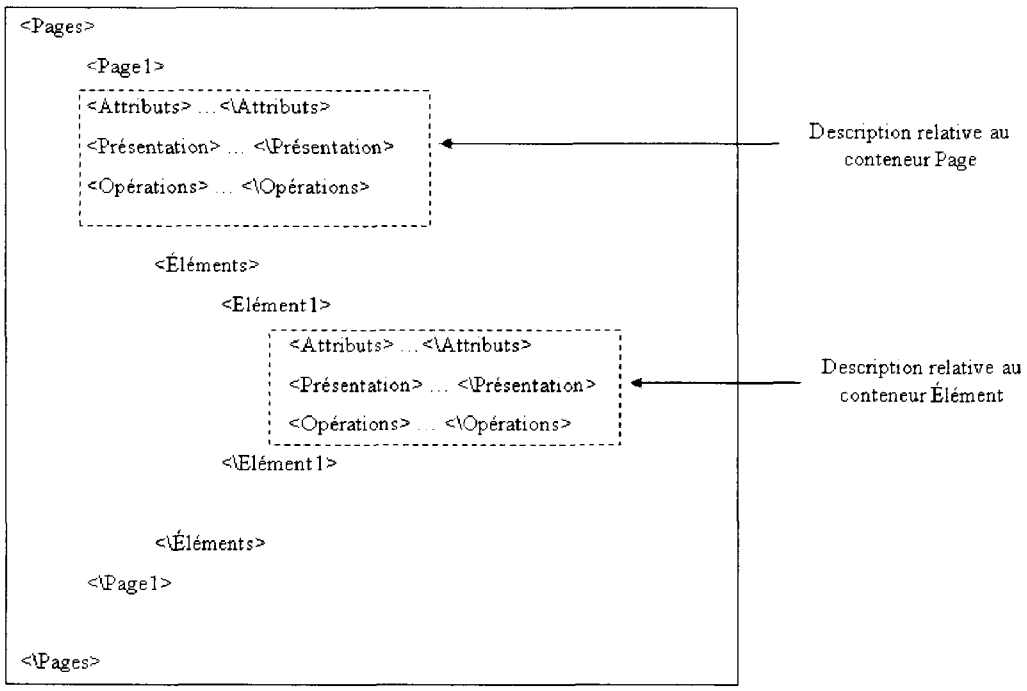

Figure 4.51. Spécification de services web orientés interface utilisateur

Ainsi tous les éléments d'interface peuvent être spécifiés d'une façon abstraite sans se soucier des aspects techniques ou d'implémentation quant aux rendus de l'interface finale. L'étape suivante considère cet aspect principalement sous l'angle du maquettage/prototypage (étape 3).

V.3. Étape 3 : maquettage et prototypage de l'IHM

Cette étape a pour objectif de présenter un modèle d'interface utilisateur qui soit le plus proche de la réalité, sous forme de maquettes (puis de prototypes), ceci afin de bien visualiser les interfaces, les tester, les commenter, simuler leur utilisation et proposer des améliorations éventuelles tout en se rattachant aux scénarios de supervision.

Maquettage

Dans le domaine des Interfaces Homme-Machine (IHM), une maquette est une image plus ou moins fidèle de l'écran de l'utilisateur de la future IHM ne caractérisant que l'aspect graphique ou présentation (visuel). Les maquettes sont très utiles pour les phases initiales de la conception. De plus, dans certains cas, elles peuvent même être réalisées simplement par les futurs utilisateurs eux-mêmes et par l'ergonome, ce qui accélère le travail de conception [Sagar, 03].

Il s'agit ensuite de considérer les éléments constitutifs de la maquette de l'interface utilisateur et de les faire évoluer vers un prototype d'interface. Ceci permet aux acteurs humains de réagir sur ce prototype en fournissant un retour d'informations permettant de faire évoluer effectivement le prototype courant vers l'interface finale, celle qui est livrée [Vanderdonckt et Coyette, 07].

Le niveau de fidélité exprime la distance entre la représentation manipulée de l'interface prototypée et l'interface elle-même. Celle-ci peut être caractérisée suivant cinq dimensions [Calvary *et al.*, 03] qui sont : le niveau de la représentation visuelle, la couverture fonctionnelle, la profondeur des fonctionnalités, la richesse d'interactivité et la richesse du modèle de données.

En vue d'élaborer les maquettes relatives aux interfaces utilisateur, on peut considérer le maquettage suivant les différentes dimensions citées ci-dessus. On peut procéder de différentes manières : soit en dessinant manuellement ou à l'aide d'un outil logiciel les différents objets et écrans graphiques mis en évidence et exprimés à l'aide des descriptions de services web (étape précédente).

La maquette peut être constituée d'un ensemble d'interfaces utilisateur (maquettes) à travers desquelles les principaux acteurs de l'organisation accomplissent leurs tâches respectives en fonction de leurs rôles (figure 4.52).

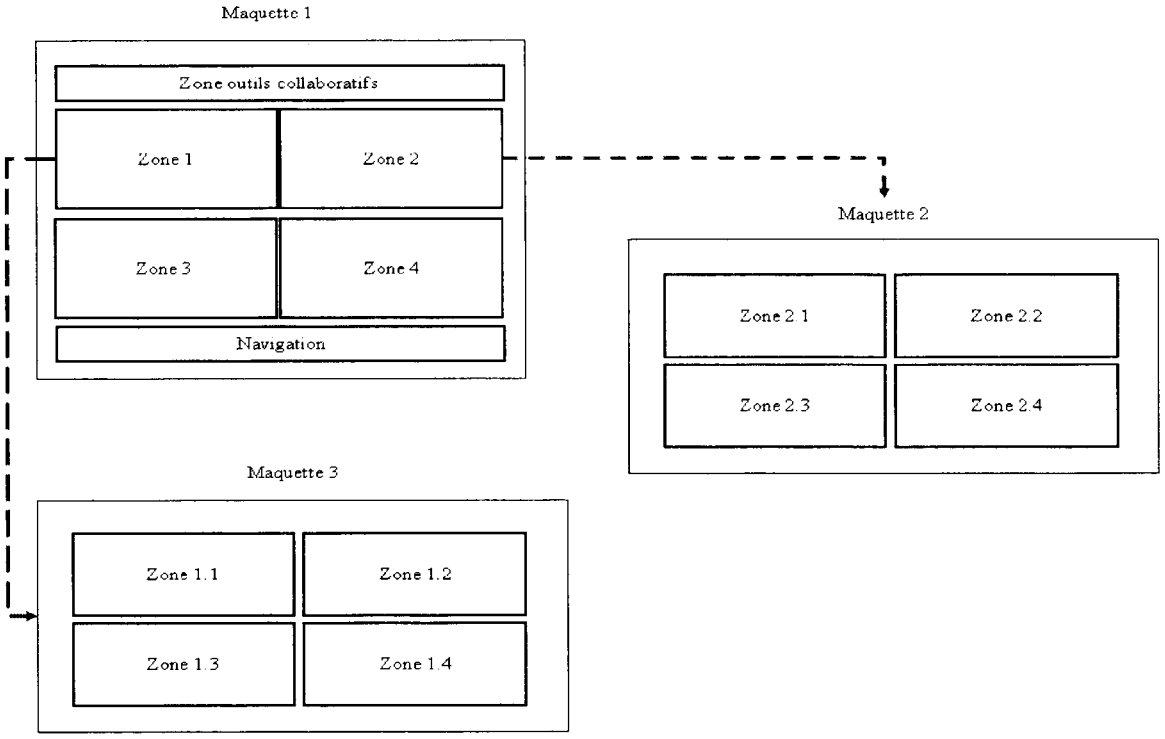

Figure 4.52. Exemple avec deux niveaux de maquettage de l'interface utilisateur

Le maquettage peut consister en une interface générale pour toute l'organisation et avec des interfaces utilisateur dédiées aux profils d'acteurs humains (figure 4.53).

Il faut décrire chacune des interfaces du point de vue utilisateur en présentant les fonctionnalités principales de l'interface pour lesquelles nous présentons des maquettes comme instances possibles de ces interfaces. Par exemple, la maquette pour l'interface générale de l'organisation peut être élaborée de telle sorte que :

- chaque acteur humain, quel que soit son rôle puisse avoir accès au système (IHM) et aux différents services web de supervision à travers une interface unique disponible ou accessible à travers un navigateur web sous forme d'une url ;
- la maquette décrive et présente des informations générales, et donne accès à un ensemble de services web groupés autour d'un certain nombre de profils utilisateurs conformément à l'expression des besoins ;
- l'authentification puisse être faite pour les acteurs en fonction de leurs niveaux d'accès et de leurs rôles.

Ainsi, les principales fonctionnalités de cette interface générale peuvent être par exemple comme suit :

- Informer les acteurs de l'organisation des objectifs, buts généraux et orientations du système en question, du rôle de chaque acteur humain impliqué, de l'ensemble des services web disponibles ou offerts par le système pour chaque acteur,
- Donner accès aux sous-sections ou pages correspondant aux différentes catégories des services web,

- Fournir des outils de contact, de formulaires de requêtes, etc.

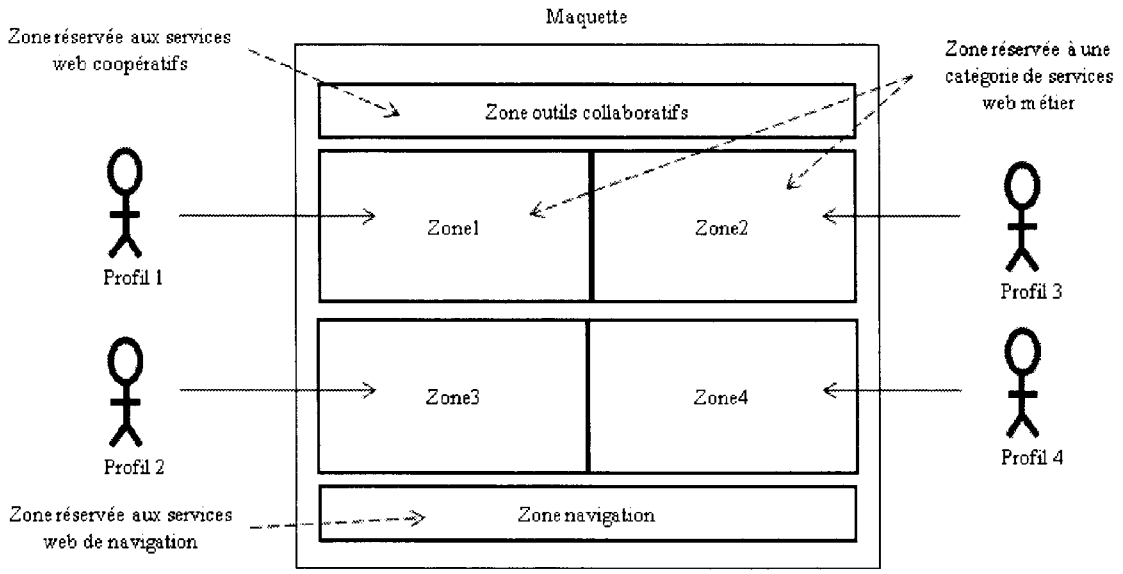

Figure 4.53. Exemple de maquette

Dans les environnements intégrés de développement, on trouve généralement un éditeur permettant de dessiner une interface dont sa représentation est calquée sur celle de la plateforme accueillant l'environnement nous permettant de construire un prototype.

Construction d'un prototype

Le prototypage rapide de l'interface est considéré comme étant une phase du cycle de vie de développement de cette interface où il s'agit d'aboutir le plus rapidement possible à des spécifications précises conformes aux besoins exprimés ou perçus comme tels par les utilisateurs finaux [Vanderdonckt et Coyette, 07].

Il s'agit de construire un prototype en utilisant un outil de prototypage ou un langage de haut niveau où on peut développer des écrans, des pages, et des éléments constitutifs de l'interface utilisateur. Avec une plate-forme d'interface utilisateur choisie, on peut convertir les aspects des éléments individuels de l'interface abstraite en une interface concrète. Par exemple, une page HTML correspond à un prototype d'une interface concrète pouvant être utilisée par un navigateur web standard.

Il est important de souligner que durant cette étape, il n'est pas nécessaire de créer un prototype de l'interface utilisateur pour l'IHM complète. En effet, on procède au maquettage et au prototypage uniquement d'une partie de l'interface utilisateur considérant les éléments prioritaires et pertinents avant de passer à leur implémentation. Pour cela, nous procédons donc d'une manière agile et évolutive (comme préconisée dans la démarche UP). Cette méthode permet d'obtenir un prototype fonctionnel et modifiable rapidement pour une meilleure validation par les acteurs humains.

Évaluation de l'interface utilisateur

Il est difficile pour les acteurs humains impliqués dans le processus de conception de l'IHM d'évaluer les interfaces homme-machine envisagées (spécifiée à l'aide de services web) à partir de leurs spécifications techniques ou fonctionnelles du fait que ces dernières sont abstraites et ne sont pas exprimées dans leur propre langage. Par conséquent, après avoir construit les maquettes relatives à l'interface utilisateur, on peut revoir des éléments de l'interface en itérant à travers le processus de maquettage (figure 4.54).

Après avoir construit un prototype de l'interface utilisateur, il est nécessaire de le faire évaluer par les utilisateurs afin de vérifier si l'interface répond à leurs attentes.
L'évaluation de l'interface peut conduire à reprendre certains éléments de l'interface ou à rajouter ceux qui semblent nécessaires et qui manquent dans la version en question de l'interface. Si nécessaire (et dans la limite du budget disponible), le processus de maquettage doit être repris encore une fois et itérativement jusqu'à la satisfaction des utilisateurs (figure 4.53).

L'évaluation des interfaces utilisateur est un domaine à part entière en interaction homme-machine pour lequel il existe de nombreuses méthodes et variantes. Nous ne détaillons donc pas celle-ci dans le cadre de cette recherche.

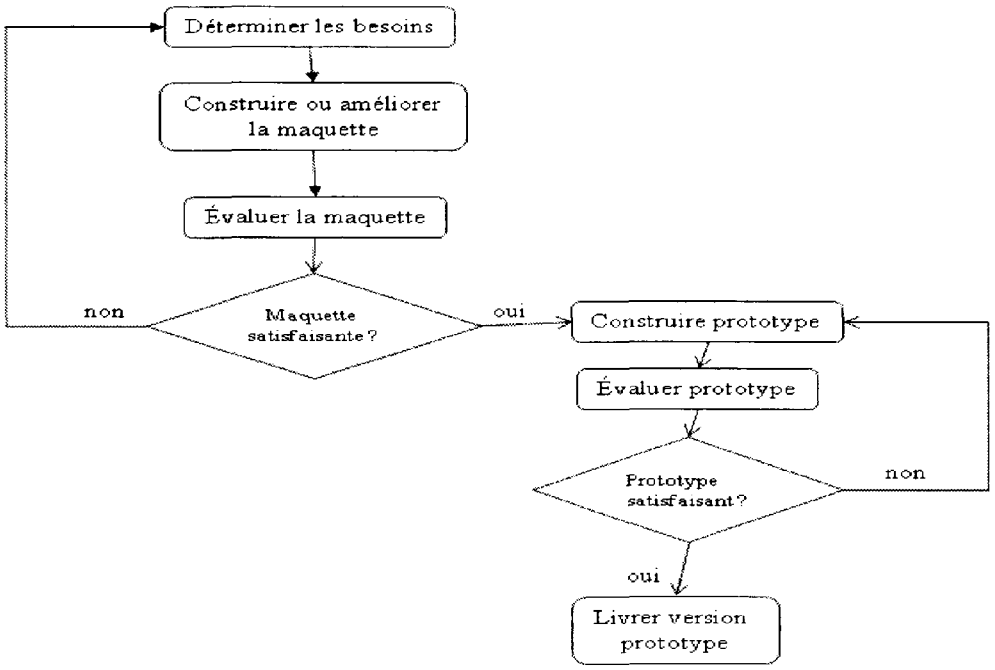

Figure 4.54. Processus de maquettage/prototypage de l'interface utilisateur

V.4. Conclusion sur la phase 3

Cette phase consiste à spécifier des IHM de supervision exposant sous formes de services web des fonctions dédiées (fonctionnalités) contenant les traitements métiers des différents modules applicatifs. Par conséquent, nous avons considéré la spécification de l'interaction homme-machine dans le cadre d'un processus métier de supervision (étape 1), de l'interface utilisateur (étape 2) ainsi que leur maquettage/prototypage (étape 3).

Dans l'étape 1, il s'agit de décrire à l'aide d'une spécification des services web, l'ensemble du déroulement ou enchaînement des différents services composant un processus métier de supervision. En d'autres termes, on formalise les flux des différentes tâches (humaines ou automatiques) impliquées dans la réalisation d'un service web métier à l'aide d'un formalisme emprunté d'une spécification standard de processus métier à base de services web (basée sur XML). On y considère les aspects de spécification relatifs aux services web concernant la communication entre différents services web (envoi et réception de messages), leurs tâches internes (transformation, manipulation de données et appel à des applications), les règles de dépendance entre les tâches (séquence, choix, traitements conditionnels, synchronisation de tâches, traitements parallèles de tâches, etc.), en plus de la gestion des événements et exceptions pouvant exister lors de l'exécution, etc.

L'étape 2 de spécification consiste à décrire les objets d'interaction correspondant aux différents services web métier de la supervision (phase 2) à l'aide d'une spécification permettant de créer des interfaces utilisateur pour services web (ou services web orientés présentation).

Enfin, dans l'étape 3, on procède au maquettage/prototypage de l'interface utilisateur, associé à des évaluations précoces, une étape importante dans notre démarche avant de poursuivre avec la conception et l'implémentation que nous n'abordons pas dans ce mémoire.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre contribution relative au domaine de l'interaction homme-machine (IHM), faisant l'objet d'un cadre méthodologique global en vue de la spécification de systèmes interactifs de supervision avancée, pouvant aller jusqu'à la e-supervision. Rappelons que la supervision est vue au sens large en étudiant les besoins des différents acteurs d'une organisation complexe, vis-à-vis de l'exploitation de nouvelles technologies. Ce cadre s'appuie sur un ensemble de méthodes et modèles issus du GL et de l'IHM d'une part, des technologies du web et de la gestion des processus métier d'autre part. Pour ce qui est des technologies du web, l'accent est mis sur les services web et l'architecture orientée services.

Dans ce cadre, nous mettons en avant les différentes étapes du processus complet tout en focalisant sur les premières étapes allant jusqu'à la spécification du système interactif, et en tenant compte des spécificités et de l'apport potentiel des services web. Ce cadre propose trois grandes phases avec des étapes essentielles.

Dans la phase 1, une étude préliminaire de l'organisation complexe est menée à travers trois types d'analyses : (1) l'analyse métier conduite selon l'objectif d'une approche orientée service, (2) l'analyse des tâches pour mettre en évidence une décomposition du système homme-machine global selon différents sous systèmes ou processus distincts et plus simples à considérer, (3) l'analyse des utilisateurs permettant l'identification des principaux acteurs métier impliqués et potentiels utilisateurs de l'IHM de supervision avancée.

Dans la phase 2, un 2ème niveau d'analyse des besoins, exprimés lors de la phase 1, est nécessaire afin d'exprimer ces besoins en termes de services web d'une part et vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives des acteurs humains d'autre part.

Enfin la phase 3 vise à spécifier l'IHM de supervision exposant sous formes de services web des fonctionnalités de supervision sur la base des résultats issus des phases précédentes. Nous avons considéré la spécification de l'interaction homme-machine dans le cadre d'un processus métier de supervision (étape 1), de l'interface utilisateur (étape 2) ainsi que sous l'angle du maquettage/prototypage (étape 3). Par conséquent, à l'issue de ce qui a été présenté tout au long de ce chapitre, notre proposition contribue au rapprochement des approches des développements à base de services web (cf. chapitre 2) et des approches de développement traditionnels ou classiques d'application (cf. chapitre 3). Nous avons considéré en plus les points de vue de l'IHM et des processus métier. Ainsi, notre proposition apporte une solution (ou un début de solution qui pourrait être approfondi dans le cadre d'autres recherches à mener par la suite) à certains aspects liés à la problématique de la conception d'IHM de supervision avancée soulevée en introduction.

Le chapitre suivant expose la mise en œuvre du cadre méthodologique proposé en vue de démontrer ou valider les principes fondateurs sur une étude de cas complexe représentative, relative à la supervision avancée d'un procédé industriel d'une raffinerie de sucre.

CHAPITRE V : APPLICATION ET MISE EN ŒUVRE DE L'APPROCHE PROPOSÉE SUR UNE ÉTUDE DE CAS RELATIVE À LA SUPERVISION D'UNE RAFFINERIE DE SUCRE

I. INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE 133

II. PHASE 1 : ÉTUDE DE L'ORGANISATION GLOBALE DE SUPERVISION ET ANALYSE MÉTIER 133

II.1. Analyse métier 134
II.2. Analyse des tâches 140
II.3. Analyse des utilisateurs 143
II.4. Conclusion sur la phase 1 146

III. PHASE 2 : ANALYSE ET EXPRESSION DES BESOINS 146

III.1. Identification et catégorisation des services métier 146
III.2. Identification des besoins et des acteurs de l'organisation 150
III.3. Conclusion sur la phase 2 157

IV. PHASE 3 : SPÉCIFICATION ET CONCEPTION DE L'IHM DE SUPERVISION 157

IV.1. Spécification de l'interaction homme-machine 157
IV.2. Spécification de l'interface utilisateur 162
IV.3. Maquettage et prototypage de l'IHM 164
IV.4. Conclusion sur la phase 3 170

V. CONCLUSION 170

CHAPITRE V : APPLICATION ET MISE EN ŒUVRE DE L'APPROCHE PROPOSÉE SUR UNE ÉTUDE DE CAS RELATIVE A LA SUPERVISION D'UNE RAFFINERIE DE SUCRE

I. Introduction et présentation du cas d'étude

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé une démarche de conception d'IHM de supervision basée sur les services web.

Dans ce chapitre, l'objectif est d'appliquer et/ou démontrer tout ou une partie des propositions avancées sur une étude de cas représentative : celle-ci concerne la supervision d'un procédé industriel. Le cas du groupe agro-alimentaire CEVITAL de Béjaïa (Algérie) a été retenu.

Il s'agit de la supervision d'une raffinerie de sucre du groupe en question. Celui-ci est doté d'une organisation multi-site avec des systèmes d'information indépendants, distants et hétérogènes mettant en relation différentes catégories d'acteurs humains et dont le site principal est implanté à Béjaïa.

Nous présentons le contexte d'étude en nous focalisant essentiellement sur des éléments pertinents de supervision, vus[28] sous l'angle de l'IHM et par rapport auxquels plusieurs cas d'utilisation représentatifs sont décrits. Ensuite un scénario représentatif est illustré sous l'angle de l'IHM ; un maquettage de l'IHM à base de services web est décrit puis discuté. Ce chapitre suit en fait globalement le déroulement des phases ayant fait l'objet du chapitre quatre.

II. Phase 1 : Étude de l'organisation globale de la supervision et analyse métier

Dans cette phase, nous procédons à une étude préalable de l'organisation complexe existante. Cette étude vise l'identification du problème, des objectifs relatifs au métier et au système homme-machine global. Il est important en effet d'établir une vision globale de la situation, des principales exigences, processus clés et contraintes ainsi que le recensement des principaux risques (organisationnels, techniques, etc.). Nous procédons à trois types d'analyses prépondérantes pour la suite de notre projet où chacune est considérée dans une étape particulière.
Dans cette première phase, nous considérons la supervision industrielle de process sous l'angle métier afin de positionner ou situer la nouvelle supervision dans l'organisation globale et complexe. Ensuite nous considérons le système homme-machine de l'organisation dans sa globalité afin de mener d'autres notamment celles relatives aux utilisateurs et à leurs tâches de supervision. Les étapes nécessaires sont décrites ci-après.

[28] Dans ce mémoire, nous ne nous intéressons pas à la sécurité des installations, des personnes et de l'environnement, qui sont des aspects très importants mais sortent du cadre de cette étude. Nous ne nous intéressons pas non plus aux aspects d'ergonomie aussi bien physique que cognitive. Nous restons à un niveau fonctionnel en lien avec les interactions homme-machine.

II.1. Analyse métier

Dans cette étape, nous allons considérer un ensemble d'éléments relatifs au métier de l'organisation complexe en question tels que les éléments du domaine d'application, les systèmes et technologies en place ou encore les contextes d'usage dans lesquels les différents acteurs humains de l'organisation évoluent. Le travail à réaliser concerne particulièrement les aspects suivants :

Identification des processus métiers

Il s'agit d'identifier l'ensemble des processus métiers donnant de la valeur ajoutée à l'organisation complexe en liaison avec la supervision au niveau de la raffinerie du sucre à travers le paradigme de l'orientation service. Ceci donnera lieu à des services métiers. Pour cela, il faut d'abord comprendre par où commencer et quels sont les processus métiers pouvant être les plus appropriés à considérer en priorité afin de pouvoir identifier les services métiers nécessaires. Pour ce faire, nous avons procédé à une étude préliminaire de l'existant que nous décrivons succinctement dans ce qui suit (pour plus de détails voir [Idoughi et al., 06]).

Le site central du complexe industriel agroalimentaire implanté à l'intérieur du port de Bejaia est composé de trois unités de production (figure 5.1) : (1) unité d'huile ; (2) unité de sucre et (3) unité de margarine et huiles végétales. L'unité de sucre, objet de l'étude est appelée aussi *raffinerie de sucre.*

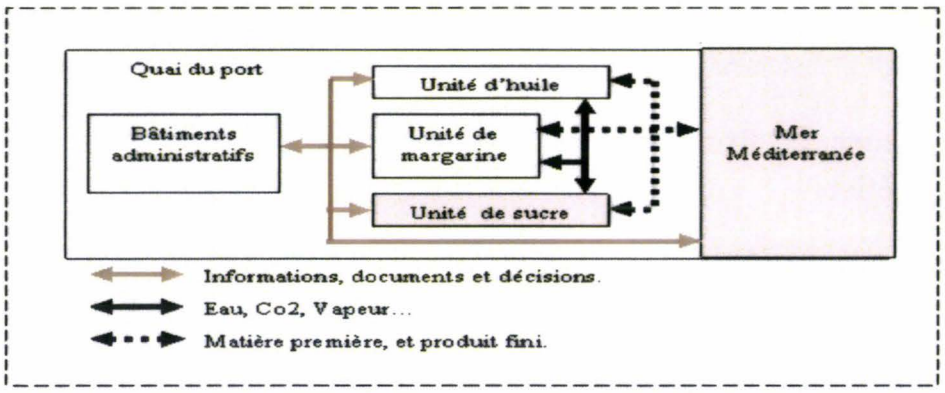

Figure 5.1. Contexte de l'étude

Dans ce qui suit nous décrivons le processus métier relatif à la raffinerie de sucre.

Description du processus métier de la raffinerie de sucre

Le but du processus de raffinage consiste à transformer le sucre roux en sucre blanc. Le sucre roux est réceptionné après commandes effectuées par la direction générale de l'entreprise. Ces commandes de sucre sont faites à partir de situations journalières élaborées par le responsable de la gestion des stocks de sucre roux, de sucre raffiné, et du programme des ventes établi par la direction commerciale.

A l'arrivée d'un navire, un prélèvement d'échantillons de sucre roux est effectué par le laboratoire de l'entreprise afin d'établir un bulletin d'analyse contradictoire. Ensuite, un rapport d'agréage, sur lequel sont portées plusieurs indications en particulier celles intéressant

l'approvisionnement du sucre (telles que les caractéristiques physico-chimiques et le tonnage à l'embarquement), est établi.
Le sucre roux est ensuite stocké dans un silo d'une capacité de 50000 tonnes ; on établit alors un bon de réception sur lequel sont portés : le nom du navire et la quantité réellement réceptionnée (en tonnes). Le sucre est ensuite acheminé dans l'unité de raffinage.
Les quantités de sucre sorties sont confirmées à la constatation de l'épuisement du chargement réceptionné laquelle doit être égale au total des consommations enregistrées.
Un document dit de « situation journalière » est également établi par le service de gestion des stocks ; sur ce document sont reportées des informations telles que : la quantité de sucre roux dans le silo, la quantité de sucre roux dans la trémie, la quantité de sucre en cours de raffinage, la quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage, etc.

La figure 5. 2 illustre une vue globale du processus de réception du sucre avant son raffinage.

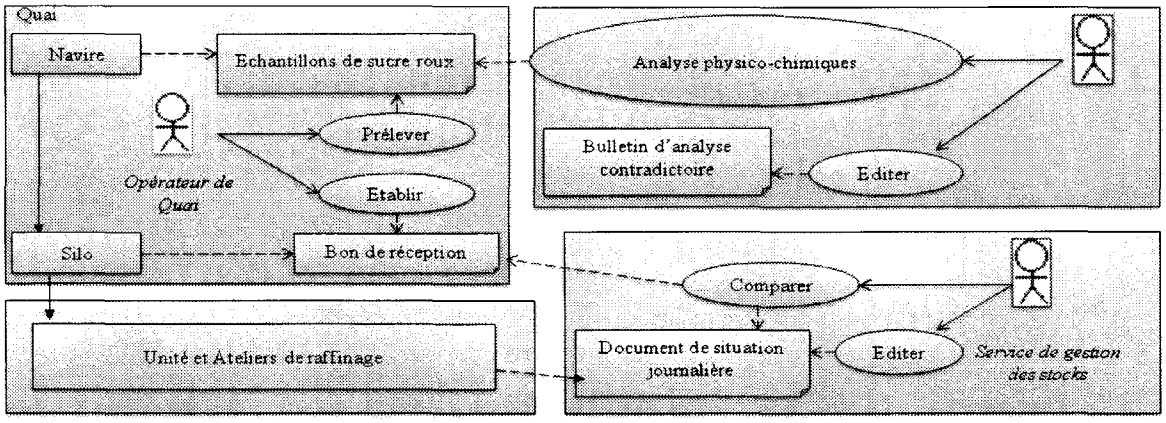

Figure 5.2. Processus avant raffinage du sucre

La raffinerie est composée de dix sections fonctionnellement indépendantes, mais physiquement contigües et ayant chacune une mission bien déterminée et fonctionnant selon un processus bien organisé de production (figure 5.3).

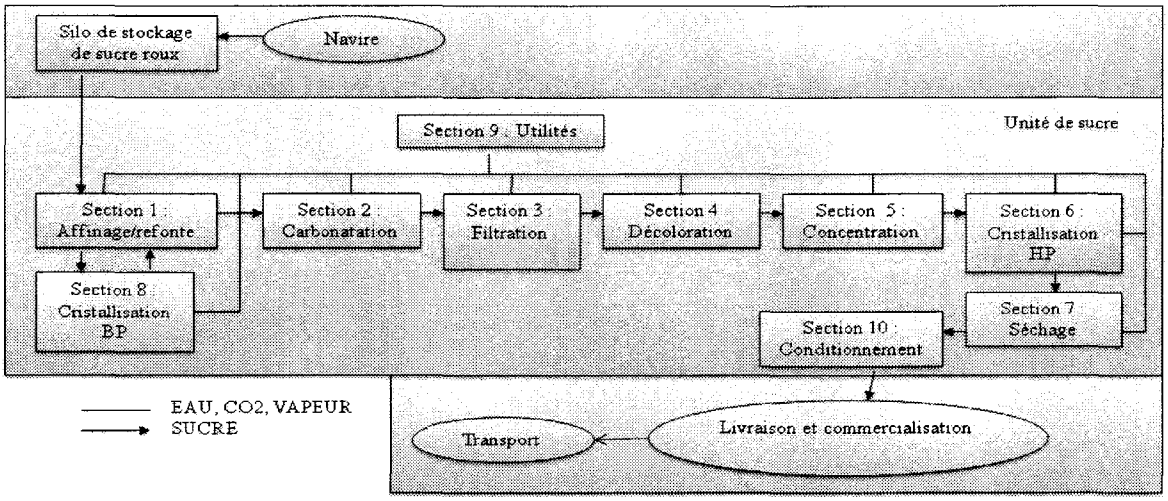

Figure 5.3. Vue globale d'implantation du site central de production

Ici, il ne s'agit pas de décrire dans le détail l'organigramme de l'entreprise mais plutôt de donner une vue d'ensemble du découpage organisationnel de l'entreprise sur le périmètre du cas d'étude.

On cherche à obtenir une liste des processus métier, relevant du domaine de la supervision au sens large, en s'appuyant sur les processus externes dans lesquels divers acteurs de l'organisation sont aussi impliqués (figure 5.4). Ceux-ci peuvent servir comme point de départ en vue de leur analyse et modélisation ensuite. En effet, on vise à identifier les services métiers candidats pouvant être exprimés par des services web dans les prochaines phases.

Les processus métier potentiels que nous avons mis en évidence sont ceux qui relèvent principalement des aspects suivants : *supervision du processus de raffinage ; traitement d'alarmes ; prélèvement, analyse d'échantillons et diffusion des résultats ; management ; approvisionnement ; livraison & commercialisation ; etc.* (figure 5.4).

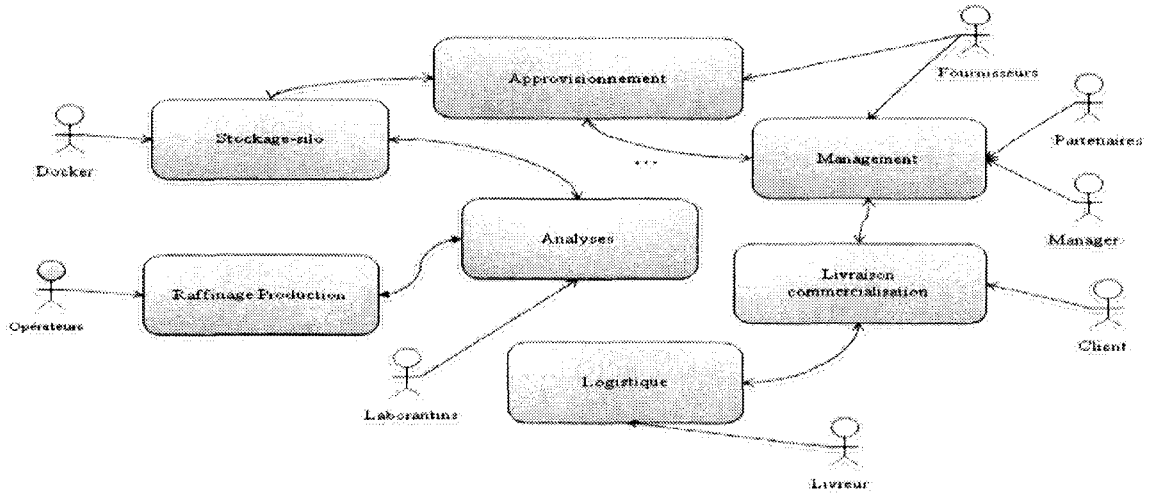

Figure 5.4. Vue globale du processus métier de l'organisation étudiée

Une focalisation sur le processus de haut niveau de raffinage a permis d'identifier les sous-processus relevant du processus métier global *raffinage* de sucre (figure 5.5). Chaque sous-processus est pris en charge par une section distincte. La description globale du processus métier relevant de chaque section est donnée en annexe C.

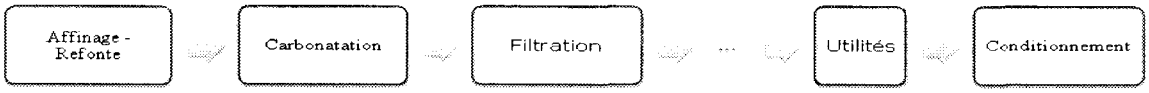

Figure 5.5. Vue globale des sous processus de raffinage de sucre

Analyse et modélisation de processus métiers

Modéliser un processus métier consiste à décrire la succession des activités qu'il comporte et le contenu de chaque activité : ce que fait chaque acteur humain, les données qu'il manipule, les

traitements qu'il ordonne, les délais dans lesquels son travail doit être exécuté ; il s'agit aussi de décrire le routage des messages et informations échangés entre activités, etc.

Ainsi, à l'issue de l'identification globale des processus métier donnant de la valeur ajoutée à l'organisation complexe (figure 5.4), on procède à la modélisation métier de ces processus pour pouvoir déduire ou extraire des définitions fonctionnelles (donnant lieu à de potentielles fonctionnalités) en se focalisant sur des scénarios métier bien choisis et priorisés.
Nous élaborons donc des scénarios métier suivant le modèle de la figure 4.8 (cf. chapitre 4). Néanmoins, nous n'allons présenter qu'un seul scénario représentatif à titre d'illustration.

Scénario métier : analyses avant raffinage
Le processus métier relatif aux analyses d'échantillons de sucre roux avant son raffinage peut être résumé par le scénario suivant :
- Le sucre roux est livré par un fournisseur étranger puis stocké dans des silos de stockage.
- Le laboratoire d'analyse procède à des analyses physico-chimiques d'échantillons de sucre roux provenant des silos avant le début du processus de raffinage.
- Les résultats d'analyse sont communiqués aux opérateurs responsables chargés du processus de raffinage.
- En fonction des résultats des tests, le responsable de la production décide ou non de lancer la production (c'est-à-dire lancer le processus de raffinage)

La liste des participants potentiels à ce scénario, leurs rôles, les relations, les objectifs métiers et les besoins fonctionnels respectifs sont résumés dans le tableau 5.1:

Participants	Rôles	Relations	Objectifs métier	Besoins
Opérateurs de laboratoire	Prélèvement et analyse des échantillons, Mise à disposition des résultats des analyses.	Fournisseur, Responsable de production	Assurer et garantir une bonne qualité du produit	Demande d'échantillon. Demande d'analyse.
Fournisseur	Assurer l'approvisionnement en matière première de l'entreprise cliente,			Demande de livraison, et facturation.
Responsable de production	Lancer un cycle de production, surveiller et prendre des décisions relatives à la production durant le quart	Opérateurs de laboratoire	Assurer le bon fonctionnement du processus de production, et une meilleure coordination au sein de l'équipe de production	Etre informé du tonnage de sucre produit, quantité de sirop disponible dans le bac, début de carbonatation, du déroulement du processus de production, etc.

Tableau 5.1. Tableau descriptif associé au scénario métier *analyses avant raffinage*

Ce scénario métier peut être ensuite décrit à l'aide de diagrammes UML.

Les diagrammes d'activités

Un diagramme d'activités permet de décrire un processus métier comme un ensemble organisé d'activités. La figure 5.6 fournit un exemple représentatif du scénario relatif au processus métier *analyses avant raffinage.*

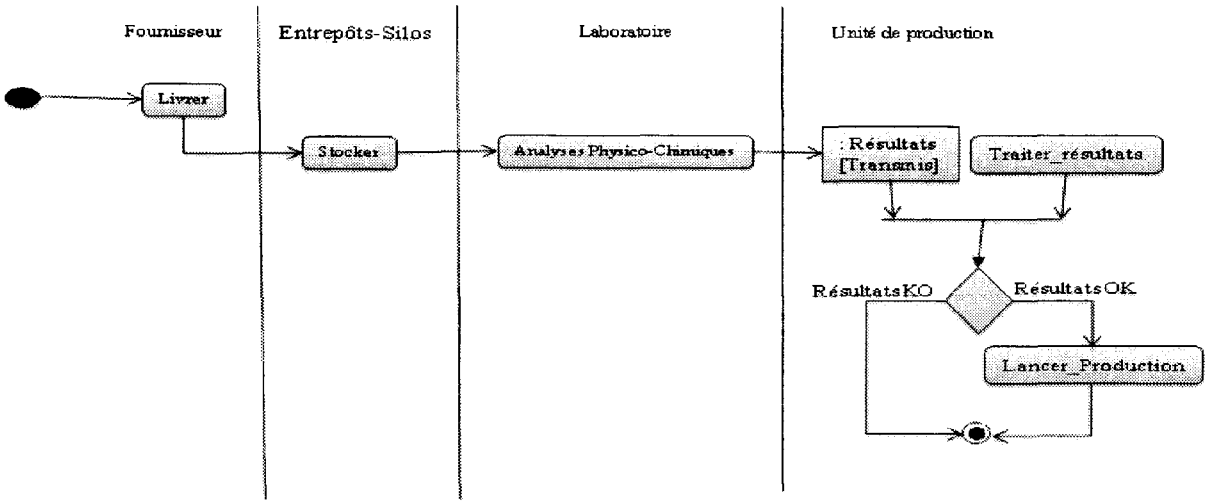

Figure 5.6. Diagramme d'activités associé au scénario métier ci-dessus

Ensuite, nous allons extraire des diagrammes de cas d'utilisation exprimés sous formes de spécifications fonctionnelles (besoins fonctionnels) de haut niveau d'abstraction (1er niveau d'analyse) en termes de services métier. On obtient ainsi un modèle de cas d'utilisation métier exprimant ainsi l'usage métier des services web à partir des scénarios métier (figure 5.7).

Les cas d'utilisation

Les cas d'utilisation métier potentiels que nous pouvons déduire des scénarios métier identifiés ci-dessus peuvent être par exemple ceux des processus métier suivants : (1) *Raffinage et production* (gérer la fabrication, gérer la production, etc.), (2) *Maintenance* (gérer les interventions de maintenance, diagnostiquer des pannes ou des anomalies, etc.), (3) *livraison et commercialisation* (gérer des commandes, gérer les livraisons des marchandises et produits, etc.), (4) *logistique* (gérer les entrepôts, gérer les ressources humaines, etc.), etc.

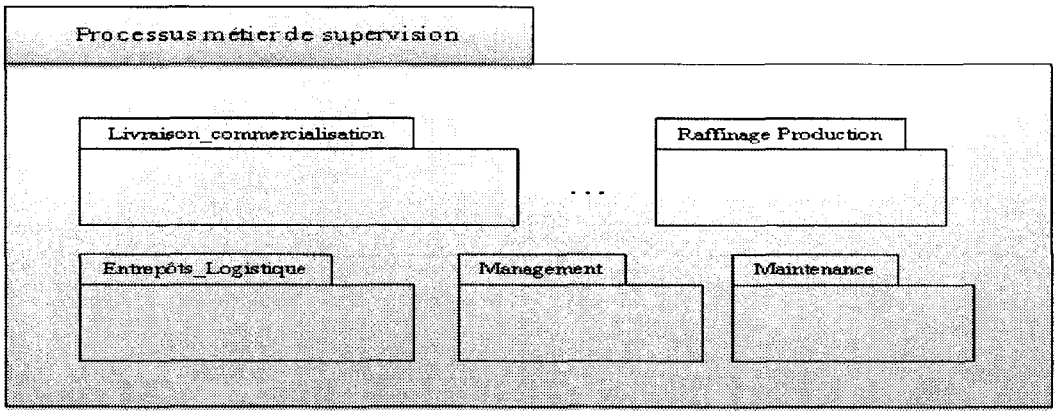

Figure 5.7. Paquetage exprimant les domaines fonctionnels de l'organisation étudiée motivant l'usage métier des services web

A titre illustratif, nous allons considérer les services métier pouvant être extraits du cas d'utilisation métier relatif au paquetage *Livraison_commercialisation et* correspondant au scénario métier #2 (figure 5.8). Ces services métier peuvent être par exemple :
Gestion des commandes (Faire_devis, Demander_devis, Traiter_commande, Annuler_commande, vérifier_disponibilité, Ordonner_facturation, etc.).

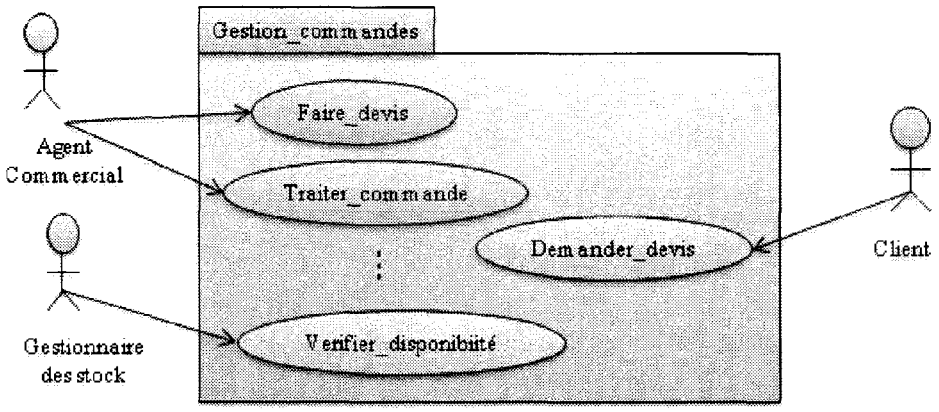

Figure 5.8. Usage métier des services web relatif au processus métier *Livraison_commercialisation*

Les diagrammes d'interaction

Nous préconisons de décrire aussi les scénarios métier en question à l'aide de diagrammes d'interaction détaillant les cas d'utilisation des services web métier (un service web métier correspond à un processus de haut niveau d'abstraction) afin de montrer les différents messages passés aux objets participant dans ces cas d'utilisation. Nous exprimons un diagramme d'interaction soit comme diagramme de séquence (5.9) quand il s'agit de considérer l'aspect temporel des interactions relatif à une fonctionnalité du système ou de l'IHM en question, soit comme diagramme de collaboration dans le cas contraire, c'est-à-dire dans le cas où nous n'avons pas besoins de mettre en avant l'aspect temporel des interactions entre les services.

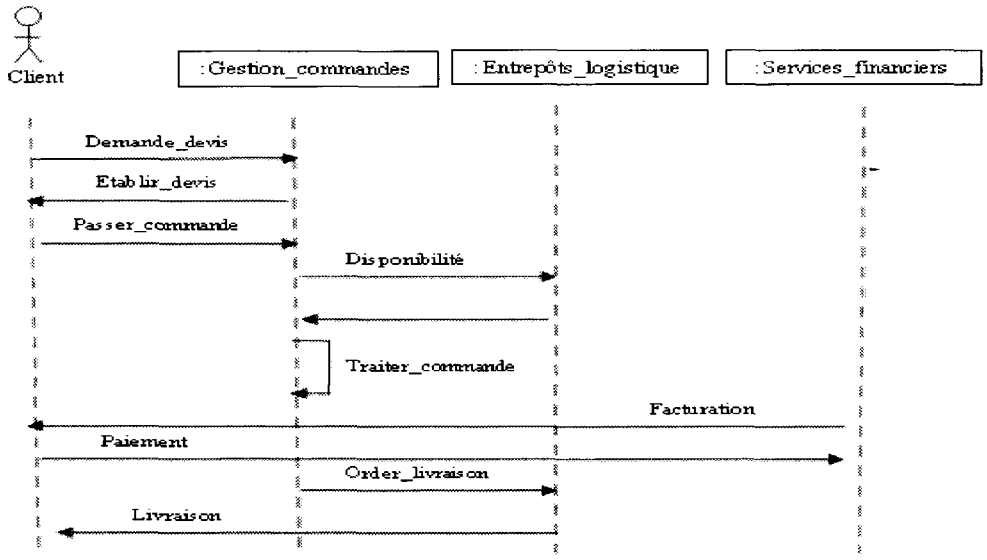

Figure 5.9. Illustration d'un cas d'utilisation métier à l'aide d'un digramme de séquence

A l'issue de ce premier niveau d'analyse métier, nous obtenons un ensemble de services métier candidats ; ceux-ci sont décrits sous forme de scénarios métier simples et usuels, à l'aide de différents diagrammes UML. Nous avons mis en avant des cas d'utilisation métier accompagnés de leurs diagrammes d'interaction.
Dans cette 1ère étape, nous avons mis en avant la vue métier de la supervision de la raffinerie de sucre. En d'autres termes, nous avons montré les fortes liaisons ou liens transversaux existant entre les différentes fonctions de l'organisation complexe dans laquelle se situe le processus de raffinage. En effet, le processus de raffinage constitue le cœur même du métier de l'entreprise étudiée. Par conséquent, il est nécessaire qu'une autre analyse, cette fois profonde, soit conduite dans l'étape suivante.

II.2. Analyse des tâches

Dans cette étape, on doit procéder à l'analyse des tâches que les acteurs humains doivent accomplir ou sont susceptibles d'accomplir au sein de l'unité de production de sucre. Ceci nous permettra de recueillir des données et informations pertinentes sur de nombreux aspects relatifs à celles-ci, tout en gardant en tête l'objectif principal qui est d'apporter des améliorations à l'existant.

Nous nous intéressons particulièrement aux aspects de fonctionnement normal et anormal du système homme-machine de la raffinerie du sucre afin de mieux cerner les différents besoins, que ce soit en information, en mobilité ou encore en coopération et collaboration des différents acteurs humains d'une part et selon différents contextes opérationnels d'autre part.

Dans l'étape précédente, nous avons mis en avant la vue métier du domaine fonctionnel de la supervision au sein de l'organisation complexe. Par conséquent, afin de garder le principe du découpage fonctionnel au niveau de l'analyse des tâches, nous avons recours à une méthode cartésienne (le choix se portant sur la méthode SADT), en vue de décomposer le système homme-machine global en plusieurs sous-systèmes hiérarchiquement fonctionnels reflétant l'organisation complexe. La figure 5.10 illustre une décomposition hiérarchique possible du système homme-machine global de l'organisation complexe étudiée.

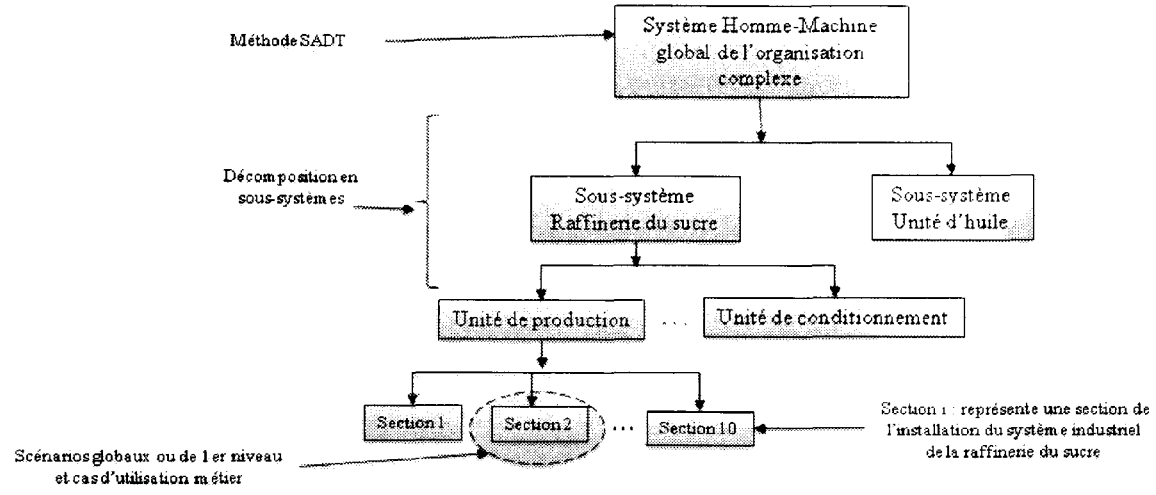

Figure 5.10. Décomposition hiérarchique du système homme-machine global de l'organisation étudiée

A travers ce processus de décomposition, nous avons mis en évidence un ensemble de sous-systèmes (un par section). Les différentes sections et leur objectif métier global sont mis en avant lors de l'étape 1 précédente.

La figure 5.11 donne un aperçu du résultat de cette décomposition sur la section 2 (carbonatation). Cette figure met en avant les différents éléments composant le sous-système homme-machine impliqués directement par le processus métier lié à la section 2[29].

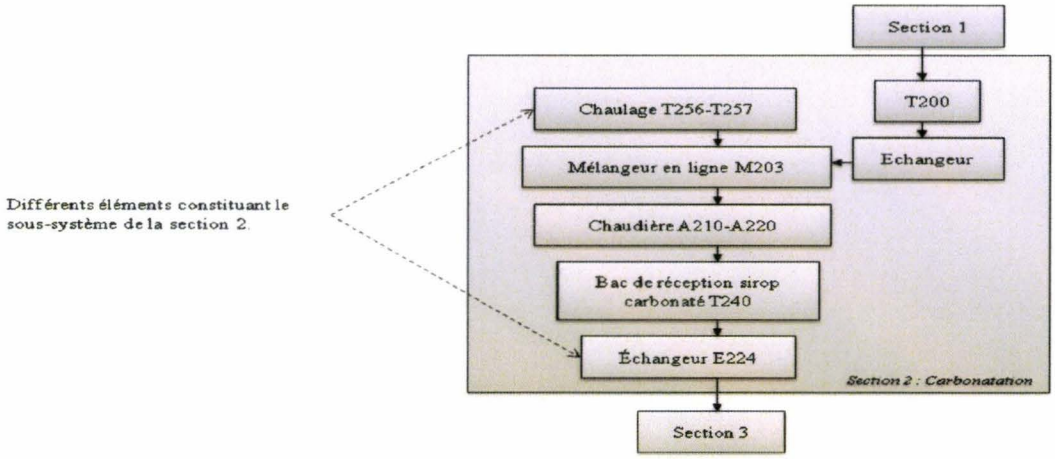

Figure 5.11. Vue globale du sous-système de la section 2 (carbonatation)

A l'issue de cette décomposition globale, on procède à une autre analyse, plus fine et approfondie, afin d'étudier les sous-systèmes obtenus séparément. Cette étude concerne les fonctionnements normaux du système, de même que les dysfonctionnements pouvant exister au niveau de chaque sous système identifié en mettant en évidence l'ensemble des causes et scénarios possibles d'un dysfonctionnement donné.

Pour cela, on procède d'une façon similaire que dans l'étape précédente (section relative à l'analyse et modélisation de processus métiers) ; c'est-à-dire qu'on élabore un ensemble ou classe de scénarios possibles et typiques de supervision considérant par exemple le contexte opérationnel du dysfonctionnement, les informations et variables mises en cause, les acteurs humains impliqués, les opérations/actions requises pour rétablir une situation normale, les moyens en IHM mis en place pour y arriver, etc.

Néanmoins, dans cette étape, nous considérons des scénarios de contexte[30] ou opérationnels au lieu de scénarios métier. Ces scénarios sont ensuite analysés (exploités) pour en extraire des éléments d'interface utilisateur à spécifier dans la phase 3 ; afin de ne pas surcharger le mémoire, tout en étant représentatif, une illustration sera fournie sur la section 2 uniquement.

[29] La description exhaustive des différents sous-systèmes obtenus lors de cette décomposition est disponible dans [Idoughi *et al.*, 06].

[30] Les scénarios de contextes apportent aux scénarios métier les informations relatives à la manière avec laquelle les utilisateurs accomplissent concrètement leurs tâches afin d'atteindre les objectifs qui leur ont été assignés dans le contexte de leur métier [Fioretti et Carbone, 07].

La figure 5.12 dresse un ensemble de cas d'utilisation métier relatifs à supervision de la section 2 (carbonatation) ainsi que les acteurs métier potentiels. Par conséquent, nous pouvons élaborer et décrire des scénarios de supervision potentiels dans la section 2.

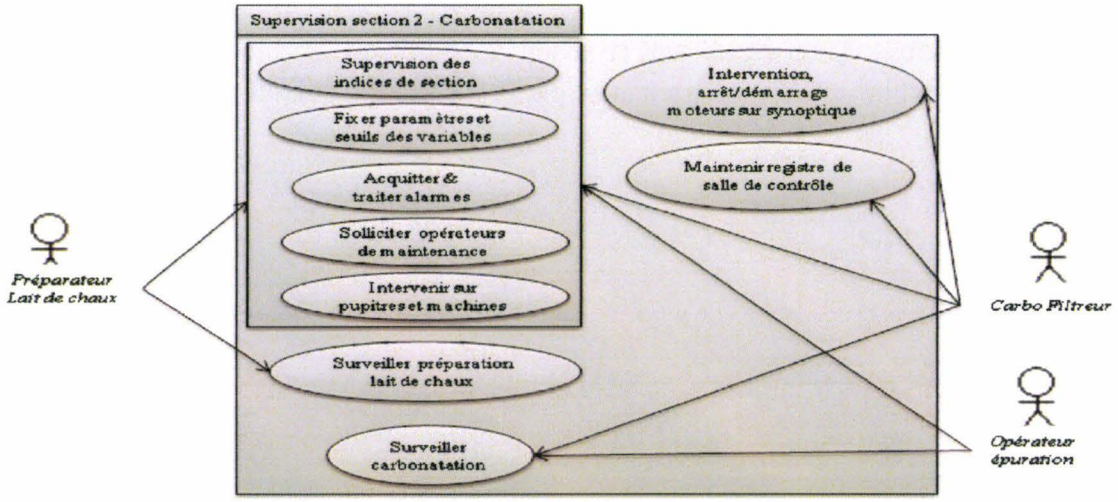

Figure 5.12. Exemples de cas d'utilisation relatifs au sous-système de la section 2 (carbonatation)

Le formalisme CTT (cf. chapitre III, §IV.2) est exploité pour la modélisation des différentes tâches humaines au niveau de chaque section ou sous-système. Les modèles de tâches CTT sont utilisés pour expliciter un cas d'utilisation métier, comme par exemple le cas d'utilisation métier : *surveiller_carbonatation* (visible en figure 5.12).
A l'aide de ce formalisme, une tâche abstraite est assimilée à un service web métier abstrait qu'il va falloir ensuite décomposer jusqu'au niveau élémentaire, lequel correspond au service web IHM (de présentation) comme le montre la figure 5.13.

Après la décomposition en tâches et sous-tâches, ces tâches élémentaires sont associées aux représentations des tâches du domaine en termes d'objets du domaine ou métier (par exemple des alarmes, synoptiques, ensemble de variables, vues synthétiques de section ou de processus, etc.). Ainsi, en s'appuyant sur ces modèles de tâches, on peut aller plus loin en construisant et décrivant des services web de différentes granularités : de services composés ou groupés jusqu'à des services élémentaires.

Opérateur temporel	Signification
[]	Le choix
|=|	Ordre indépendant
|[]|	Synchronisation
>>	Composition séquentielle
[]>>	Composition séquentielle avec transfert d'information

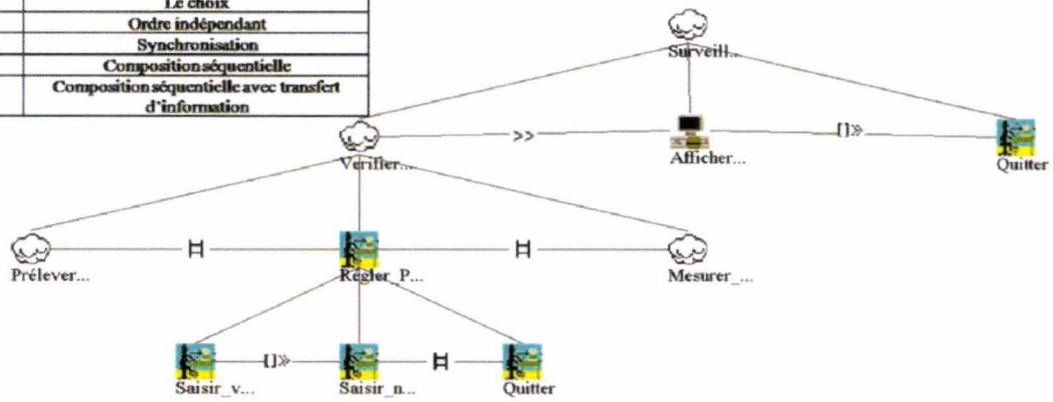

Figure 5.13. Exemple de modèle de tâches CTT du sous-système de la section 2 (carbonatation)

Par ailleurs, la modélisation de ces tâches de supervision consiste aussi à formaliser les flux des différentes tâches impliquées dans la réalisation d'un service métier relatif au sous-système de la section 2 à travers l'utilisation des différents opérateurs temporels fournis par le formalisme CTT.
Notons que, selon l'état d'esprit de la démarche UP fournissant un cadre méthodologique à notre démarche (cf. chapitre 4, §II.1), ces modèles de tâches CTT obtenus seront validés au fur et à mesure de leur élaboration avant de les considérer dans la phase suivante.

Enfin, il faut rappeler que cette étape considère l'étude de l'organisation complexe uniquement sous l'angle de l'analyse des tâches. Par conséquent, on aboutit à un ensemble d'informations relatif au contexte de l'étude et en liaison avec les différents acteurs humains, leurs tâches, leurs besoins, etc., comme résumé dans l'annexe D. En parallèle, si on se réfère à la démarche proposée (cf. chapitre 4, figure 4.5), il est nécessaire de connaître les caractéristiques principales relatives aux acteurs humains participant aux processus métier concernés ; ceci fait l'objet de la section suivante.

II.3. Analyse des utilisateurs

Dans cette étape, on s'intéresse aux acteurs humains concernés par le contexte métier actuel ou existant de l'entreprise étudiée déduisant ainsi leurs besoins métiers courants avant d'aller vers d'autres besoins non exprimés ou mal identifiés (objet de la phase suivante).

Les profils des utilisateurs potentiels de la future IHM doivent donc être identifiés, en recueillant des données et informations pertinentes les concernant et servant de base de référence dans la spécification de l'IHM visée (celle-ci faisant l'objet de la phase 3).
Dans notre étude de cas, trois niveaux d'organisation relatifs au métier de l'entreprise ont été identifiés. D'après [Corbillet et Vincent, 06], il s'agit des niveaux stratégique, décisionnel (ou tactique) et opérationnel :
- Le niveau stratégique concerne les acteurs métier ayant des objectifs et besoins stratégiques vis-à-vis du processus de raffinage de sucre. Ces acteurs expriment un besoin de pilotage stratégique nécessitant donc des informations hétérogènes (contenu et forme), synthétiques et

consolidées tels que les tableaux de bord, rapports, graphiques, etc. Il s'agit notamment du personnel du management, d'autres acteurs humains collaborant et travaillant avec l'organisation comme par exemple des partenaires, des clients, des fournisseurs, etc.

- Le niveau décisionnel concerne les acteurs métier chargés du suivi quotidien des processus opérationnels exprimant ainsi un besoin de pilotage opérationnel. Il s'agit par exemple des responsables de production, du marketing, de la gestion des stocks, etc.
- Enfin, le niveau opérationnel concerne les acteurs en charge des activités plus techniques, fortement structurées et guidées par des processus bien formalisés et liés au métier de chacun. Il s'agit notamment des opérateurs humains que ce soit à l'intérieur de la salle de contrôle ou à l'extérieur, des rondiers ou encore des opérateurs d'astreinte, etc. La figure 5.14 illustre la typologie des acteurs de niveau opérationnel intervenant dans la supervision du process de raffinage de sucre.

L'organigramme relatif à la typologie complète des acteurs humains de l'organisation étudiée est fourni en annexe E.

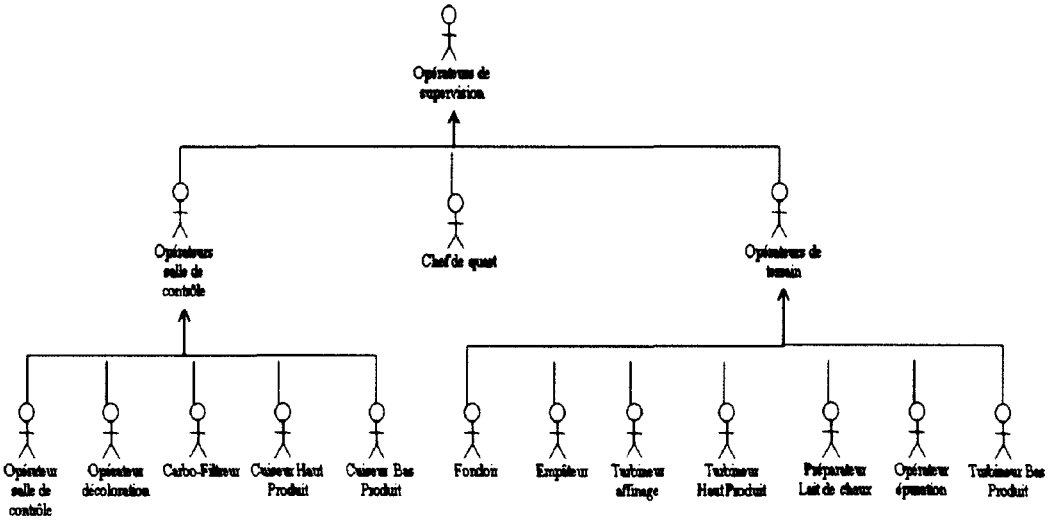

Figure 5.14. Profils utilisateurs de supervision du process de raffinage du sucre – niveau opérationnel

A l'issue des premières analyses précédentes, nous obtenons une vue globale et actuelle de l'organisation étudiée en rapport avec son cœur de métier (le raffinage de sucre depuis l'approvisionnement jusqu'à sa commercialisation). Ainsi, la figure 5.15 donne une vue globale du contexte existant de la supervision montrant les principaux acteurs humains (opérateurs en salle de contrôle, opérateurs de terrain, opérateurs de laboratoires, etc.) directement impliqués par la supervision du process de raffinage de sucre. D'autres acteurs humains appartenant à différents départements de l'entreprise (direction générale, gestion des stocks, service commercial, etc.) sont aussi impliqués mais pas d'une manière directe sur le process lui même. Cependant ils servent de maillon important et nécessaire pour la bonne conduite et l'exécution du plan de production de sucre. En revanche, la figure 5.16 donne une vue se focalisant sur l'unité de raffinage, mettant ainsi en avant les différentes sections et les acteurs humains impliqués échangeant des messages et informations diverses (voir annexe F). Ceci nous permet de mieux expliquer le contexte de la suite de l'étude.

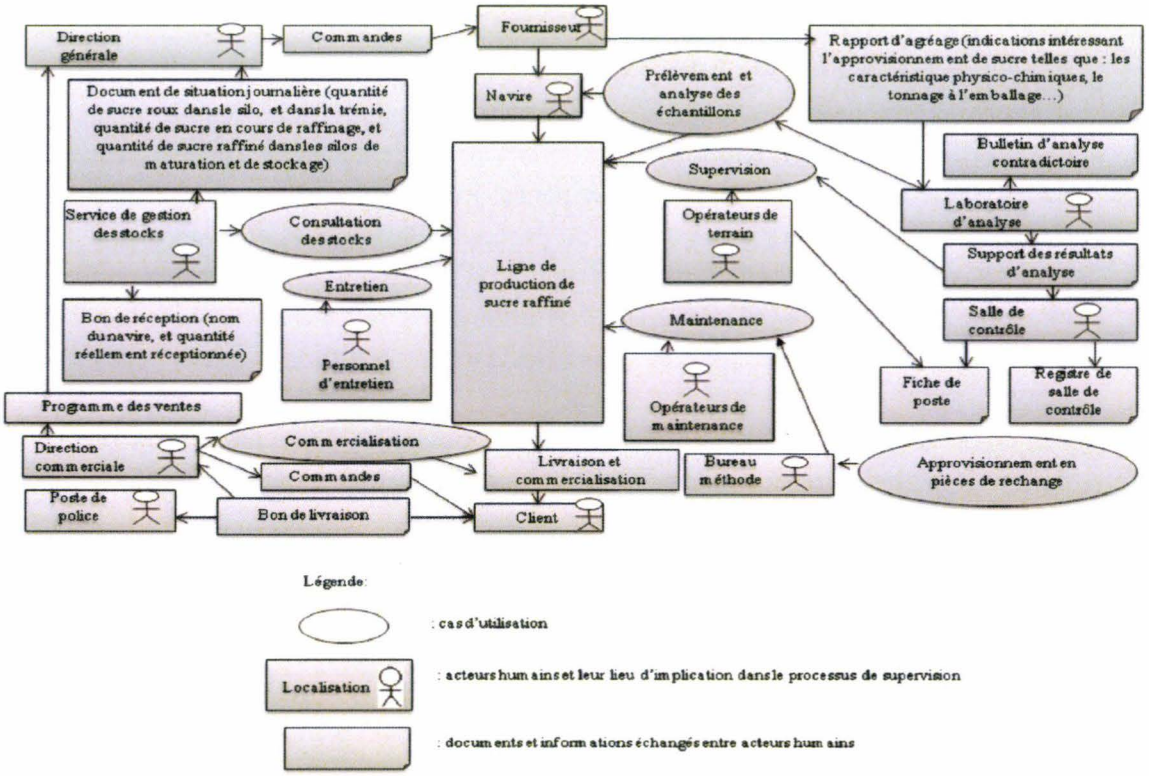

Figure 5.15. Vue globale de la supervision existante

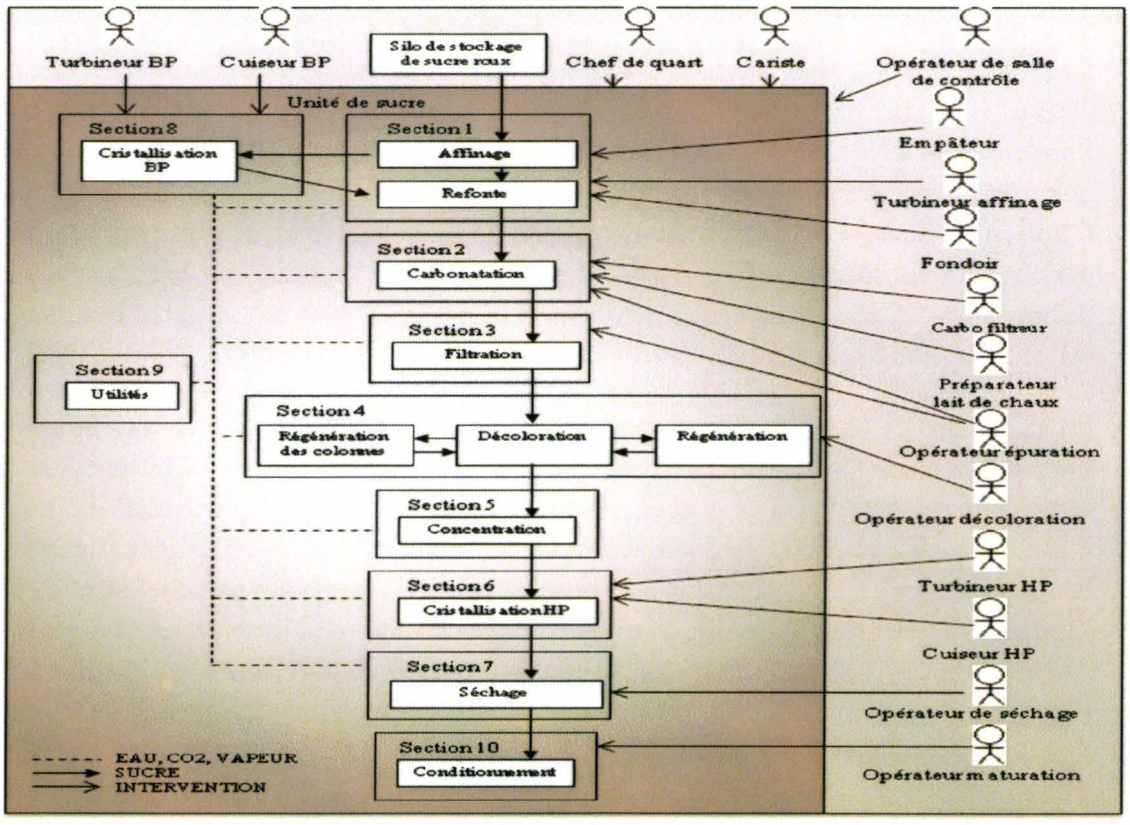

Figure 5.16. Focalisation sur l'unité de raffinage

II.4. Conclusion sur la phase 1

L'analyse métier conduite selon l'objectif d'une approche orientée service nous a permis de dégager un premier ensemble de processus métier de supervision. Ceux-ci sont décrits à l'aide de cas d'utilisation métier, eux-mêmes extraits à partir de scénarios métier. Ensuite, l'analyse des tâches nous a permis de mettre en évidence une décomposition du système homme-machine global selon différents sous systèmes ou processus distincts et plus simples à considérer d'une part, et d'autre part, un premier ensemble d'informations pertinentes pour les différentes situations étudiées. Enfin, l'analyse des utilisateurs nous a permis d'obtenir les principaux acteurs métier impliqués dans les scénarios métier construits lors des analyses métier et des tâches.

Par ailleurs, nous soulignons que durant cette phase, les services métiers (de 1er niveau) sont définis indépendamment des aspects techniques et contraintes physiques de l'environnement de supervision.

A partir de cela, nous abordons un deuxième niveau d'analyse afin de dégager ou d'identifier l'ensemble des services web correspondant à ces services métier, mais en tenant compte cette fois-ci des nouvelles exigences et contraintes issues de la nouvelle situation de supervision engendrée ou induite. En d'autres termes, il s'agit de considérer de nouveaux scénarios de supervision, donc de nouvelles fonctionnalités de l'IHM, à travers des scénarios d'usage des services web, ainsi que les acteurs humains pouvant y être impliqués. Ceci fait l'objet de la phase 2.

III. Phase 2 : Analyse et expression des besoins

Lors de la phase 1, nous avons obtenu un premier ensemble de cas d'utilisation de supervision obtenu à partir de scénarios métier globaux, exprimés durant l'étude préliminaire de l'organisation globale. Une fois les principaux services métiers appropriés et nécessaires identifiés, dans cette phase, une seconde analyse, plus profonde et détaillée, sur ces cas d'utilisation de services métier, doit nous permettre de définir et spécifier les besoins couverts par ces derniers en termes de services web, vis-à-vis de la mobilité des acteurs concernés et des tâches coopératives. Deux étapes seront nécessaires, en cohérence avec le chapitre précédent (cf. chapitre IV, figure 4.5).

III.1. Étape 1 : Identification et catégorisation des services web métier de supervision

Lors de la phase précédente, nous avons mis en avant un ensemble de cas d'utilisation de services métier au niveau de chaque sous-système identifié de l'organisation, soit au niveau de l'unité de raffinage elle-même, soit au niveau des autres entités organisationnelles (management, laboratoire, stocks, etc.). Sachant que l'organisation fonctionnelle actuelle est caractérisée par l'ilotage[31] de ces sous-systèmes, dans cette étape, il s'agit de classer, trier et organiser ces cas d'utilisation des services métier en regroupant entre eux ceux qui sont liés par une affinité fonctionnelle (manipulation du même objet métier, même contexte fonctionnel, même objectif fonctionnel, etc.), ceci afin d'identifier des services web candidats devant être exprimés à l'aide d'une ou plusieurs opérations de services web.

[31] Ilotage : organisation en silos (désigne une découpe verticale d'un système, par applications (silos applicatifs)) d'un système d'information global d'une organisation.

En effet, si nous considérons, par exemple, les cas d'utilisation de services métier relatifs aux différentes sections de l'unité de raffinage concernant des situations de dysfonctionnements ou de pannes, ceux-ci devront être catégorisés ou typés suivant l'objet métier « *alarme* », dans un contexte fonctionnel de « *supervision de process* » et un objectif fonctionnel de « *maintenance* ». Ainsi, nous obtenons des services relatifs aux alarmes, à la supervision de process et à la maintenance et ceci quel que soit les systèmes ou systèmes supervisés. La figure 5.17 illustre un exemple de cette catégorisation de services où un service d'une catégorie peut appeler ou solliciter un service d'une autre catégorie.

A travers la catégorisation de services, nous visons à contourner les contraintes relatives à *l'interopérabilité des différents systèmes hétérogènes en silos* existants au sein de l'organisation étudiée et à aller vers *l'unification des différentes vues des processus supervisés existantes* à travers une IHM unifiée devant permettre des fonctionnalités transversales.

Par ailleurs, cette catégorisation nous permet d'éviter la redondance dans le système global de l'organisation en question en ayant une vue d'ensemble de toutes les fonctionnalités et permettant ainsi la réutilisabilité de ces dernières à travers la composition de services. De cette manière, on peut créer d'autres nouvelles fonctionnalités répondant aux besoins d'agilité métier.

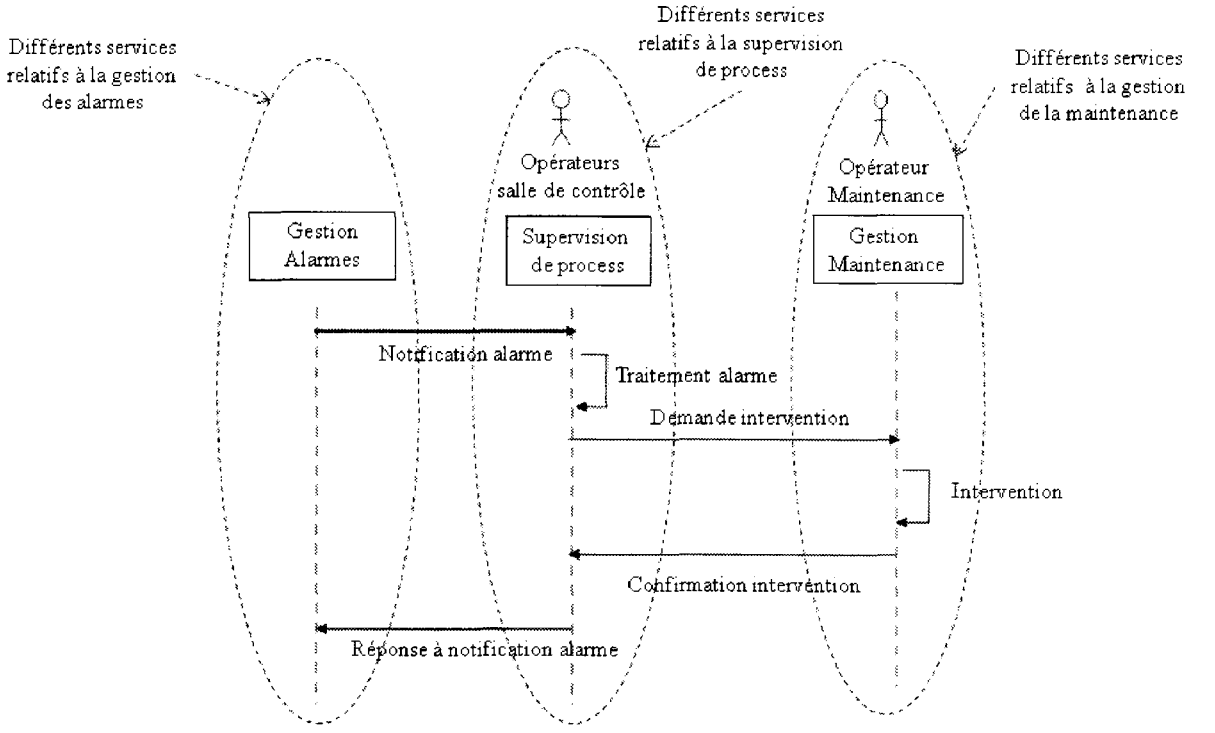

Figure 5.17. Exemple de catégorisation de services métier de supervision

Enfin, la catégorisation donne lieu à des paquetages ou groupements de cas d'utilisation des services métier contenant des groupements de fonctionnalités métier. La figure 5.18 fournit à ce sujet deux exemples sous la forme de services *intervention* (appartenant à une catégorie de

services, relative à la gestion de la maintenance) et de services *surveillance de la carbonatation* (appartenant à la catégorie relative à la gestion de la section carbonatation).

Au niveau de l'unité de raffinage par exemple, la catégorisation de services peut être guidée par celle des tâches humaines telles que : les opérations et tâches de routine qui donneront lieu à une catégorie de services de surveillance et de communication, les opérations spéciales ou spécifiques (démarrage, arrêt, etc.), les opérations de maintenance et de réparation, etc.

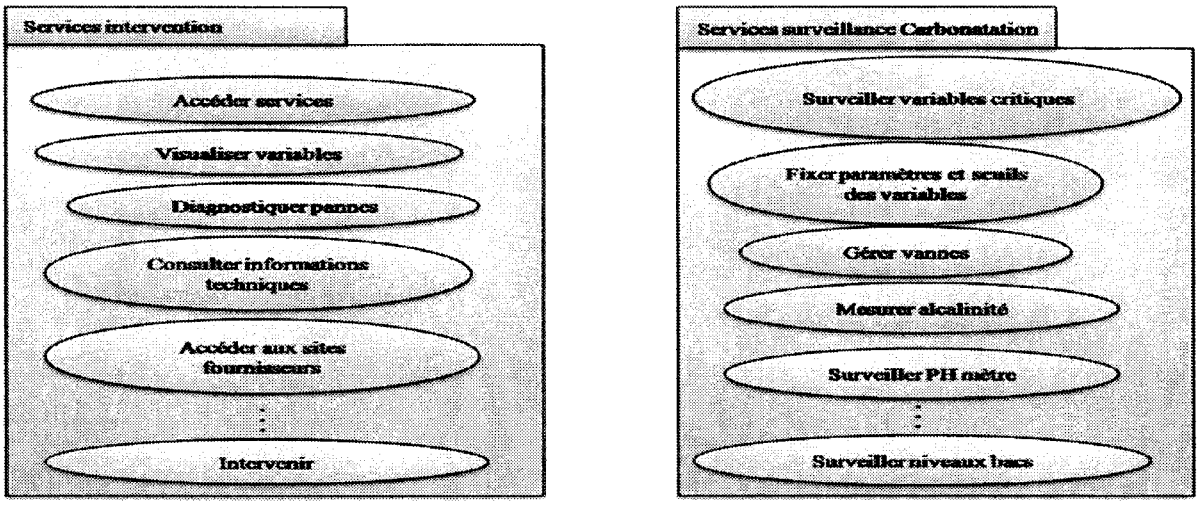

Figure 5.18. Exemples de catégorie de cas d'utilisation de services métier

Ainsi, nous décrivons l'ensemble des cas d'utilisation exprimant les différents besoins de l'organisation existante, recensés et captés dans un référentiel de besoins à l'aide de modèles de cas d'utilisation. Le tableau 5.2 dresse une catégorisation des services web métier de supervision (voir Annexe G).

Catégorie de services	Exemple de services
Services relatifs au management	Administrer, visualiser toutes les informations relatives au management
Services relatifs aux fournisseurs	Livrer et approvisionner en sucre roux, etc.
Services relatifs à la livraison et la commercialisation	Accéder, visualiser, partager et gérer toutes les informations relatives à la livraison et la commercialisation (contrat, commandes, livraison, etc.).
Services relatifs à la clientèle	Accéder, placer commandes, visualiser et suivre l'état de la commande et de la livraison, etc.
Services relatifs à la supervision de process en salle de contrôle	Administrer, visualiser les synoptiques de toutes les sections de la raffinerie, informer les opérateurs en charge de la supervision de process particuliers, services relatifs à une section donnée, etc.
Services relatifs au laboratoire d'analyses	Analyser les caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sucre roux, Requête d'extraction et d'analyse d'échantillons de sucre en transformation dans une section donnée, transmission de résultats d'analyse à la salle de contrôle, etc.
Services relatifs à la section #2	Analyse d'échantillons de sucre en transformation, transmission de résultats au laboratoire, supervision des indices de section, fixer paramètres et seuils des variables, surveiller préparation lait de chaux, surveiller carbonatation, etc.
Etc.	

Tableau 5.2. Catégories potentielles de services

La figure 5.19 illustre un exemple de cas d'utilisation correspondant à une catégorie de service métier. La figure 5.20 fournit un extrait de représentation graphique, par diagramme de séquence, de celui-ci.

Intitulé du cas d'utilisation : intervenir
Description
Suite à l'apparition d'une anomalie au niveau de la section de carbonatation, un opérateur de terrain informe le bureau méthodes en lui envoyant une demande d'intervention (DI). Les techniciens du bureau méthodes interviennent sur le site et établissent un diagnostic sur la panne.
Détail du cas d'utilisation
- But du cas d'utilisation : intervenir pour régler anomalie, - Pré-conditions : apparition d'une anomalie et panne diagnostiquée, - Post-conditions (succès) : panne réglée, compte rendu de succès établi, opérateurs informés, intervention terminée. - Post-conditions (échec) : panne non réglée, compte rendu d'échec établi, opérateurs informés, hiérarchie informée. - Évènements déclencheurs : alarme émanant du service gestion des alarmes, réception demande d'intervention.
Scénario nominal
Enchaînements : 1. En fonction des résultats du diagnostic, le technicien en chef - Lance un ordre de travail (OT) vérifié et validé par le chef de service maintenance, - Diffuse l'OT au chef d'atelier et ses équipes, 2. Durant l'intervention - Les équipes d'intervention exécutent les opérations et instructions présentes dans l'OT. 3. A la fin de l'intervention, - le chef d'atelier établit un bon de travaux (BT) renseignant les différentes tâches effectuées lors de l'intervention. 4. Terminer l'opération de maintenance : - Les techniciens du bureau méthodes enregistrement le BT, - Le chef de service clôture l'OT. Acteurs impliqués : le technicien en chef, le chef de service maintenance, le chef d'atelier, les techniciens du bureau méthodes. Condition de branchement : Panne non réglée.
Scénario alternatif
Intervention experte.

Figure 5.19. Cas d'utilisation *Intervenir* correspondant à un service métier *Gestion de la maintenance*

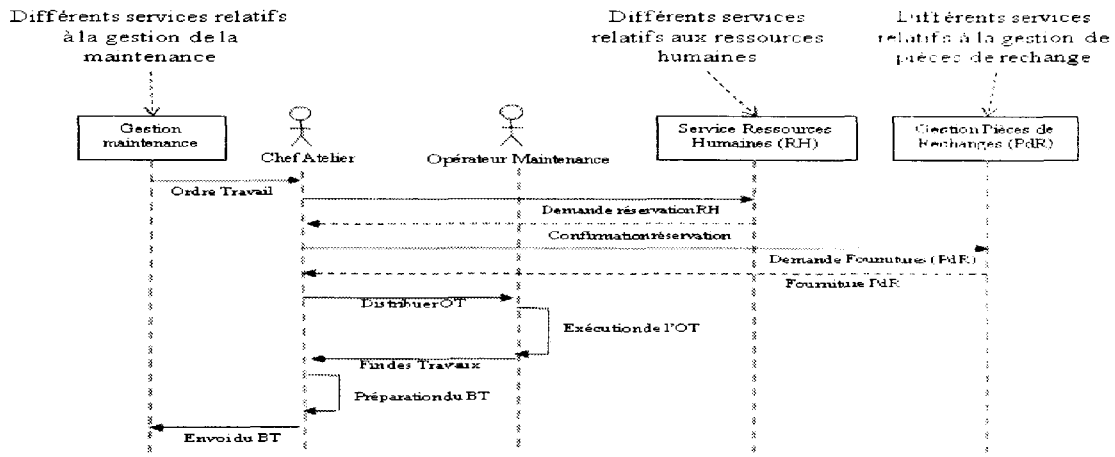

Figure 5.20. Exemple détaillé de la catégorie de services métier *Gestion de la maintenance*

Dans l'étape 2, il faut identifier les services web candidats permettant d'exprimer les différents besoins déjà identifiés ; il faut aussi considérer les cas manquants ou incohérents de ces besoins vis-à-vis de la nouvelle vision de la supervision. En d'autres termes, il s'agit aussi de considérer et traiter les cas d'usage des services métier non encore élicités lors de la phase 1.

III.2. Étape 2 : Identification des besoins et des acteurs de l'organisation

L'étape précédente a permis d'obtenir des catégories de services exprimant des usages métier à travers des cas d'utilisation. Dans ce qui suit, nous allons analyser ces cas d'utilisation (scénarios) afin de déduire ou d'extraire différents besoins vis-à-vis de l'IHM de supervision que nous exprimerons en termes de services web à concevoir ou à développer d'une part et vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives d'autre part.

Expression des besoins en termes de services web

Afin d'exprimer les besoins déjà recensés et catégorisés à l'aide de services web, nous devons identifier les services web candidats associés aux services web métier comme suit :

- On reprend chaque cas d'utilisation (illustré par l'exemple de la figure 5.19 ci-dessus) d'un paquetage ou modèle de services métier correspondant à une catégorie de services, lequel exprime des scénarios sous forme d'enchaînements associés à un diagramme de séquence (cf. exemple en figure 5.20 ci-dessus),
- Pour chaque cas sélectionné, on considère chaque enchaînement ou action du scénario décrivant et explicitant clairement des interactions potentielles entre différentes entités et/ou acteurs bien identifiés. Celles-ci caractérisent des éléments pouvant définir un service web candidat. Ainsi les messages échangés correspondent aux opérations de services web pouvant composer les services métier interagissant avec les différents éléments/composants de l'IHM.
- Nous répétons le processus pour chacun des paquetages de services métier identifiés.

Afin d'illustrer davantage le principe de la démarche, nous allons considérer un autre cas d'utilisation exprimant d'autres besoins. Nous traitons le cas du sous-système (ou section) 2 (carbonatation) à travers les services web potentiels (visibles en figure 5.18, partie droite, ci-dessus).

De la même manière que précédemment, nous exprimons un cas d'utilisation suivant (figure 5.21) que nous considérons dans la phase suivante.

Intitulé du cas d'utilisation : surveiller_variables_critiques
Description
Des opérateurs surveillent constamment un ensemble de variables critiques relatives au procédé industriel de raffinage de sucre de la section 2 (carbonatation). Ici, nous considérons uniquement deux variables pour simplification. Il s'agit des variables relatives au PH et au niveau des bacs de carbonatation.
Detail du cas d'utilisation
- But du cas d'utilisation : surveiller les variables critiques en vue de les garder dans des seuils prédéfinis, - Pré-conditions : seuil de valeurs permises dépassé, - Post-conditions (succès) : seuil rétabli, compte rendu de succès établi, opérateurs informés, opération de carbonatation terminée. - Post-conditions (échec) : seuil non rétabli, compte rendu d'échec établi, opérateurs informés, hiérarchie informée, carbonatation non achevée. - Évènements déclencheurs : alarme émanant du service gestion des alarmes.
Scénario nominal
Enchaînements 1 : 1. L'opérateur épuration chargé de surveiller la section de carbonatation - Scrute le PH des bacs de carbonatation, - Le PH dépasse le seuil permis, - Il coupe l'alimentation en carbone des bas de carbonatation, - Il ferme les vannes des bacs, - Le seuil normal du PH est rétabli. Enchaînements 2 : 1. L'opérateur épuration chargé de surveiller la section de carbonatation - Scrute le niveau des bacs de carbonatation, - Le niveau dépasse le seuil permis, 2. L'opérateur épuration demande à l'opérateur Turbineur-affinage de diminuer le débit de sirop dans les bas de carbonatation, - Il diminue le débit, - Le niveau des bacs est rétabli. Acteurs impliqués : L'opérateur épuration au niveau de la section 2, l'opérateur carbo filtreur en salle de contrôle, et le Turbineur-affinage. Condition de branchement : seuil du PH et niveau des bacs non rétablis.
Scénario alternatif
Intervenir

Figure 5.21. Cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques* correspondant à un service métier *Carbonatation*

La figure 5.22 fournit un extrait de représentation graphique, par diagramme de séquence, de l'enchaînement 1.

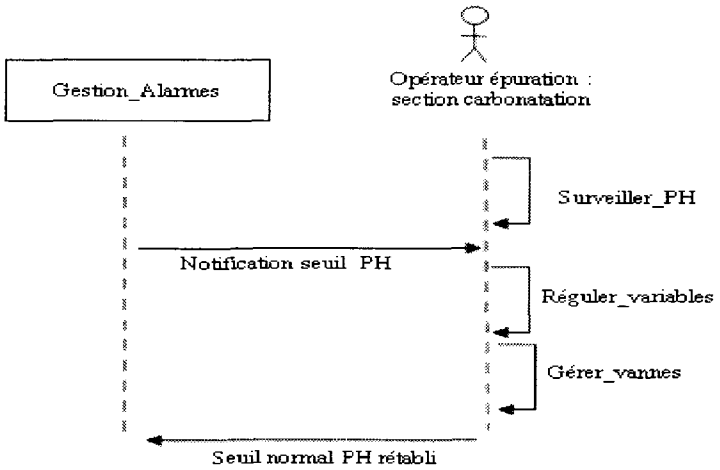

Figure 5.22. Exemple de diagramme de séquence extrait du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques* correspondant à un service métier *Carbonatation*

Les figures 5.23 et 5.24 illustrent une expression des services web métier issus du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*. Le nombre de services web candidats ainsi que leurs opérations respectives dépendent du niveau de détail des enchaînements du scénario. Ceci correspond à la granularité des services web. La figure 5.25 donne un exemple d'extrait de cartographie des services web relatifs aux catégories des services web métier.

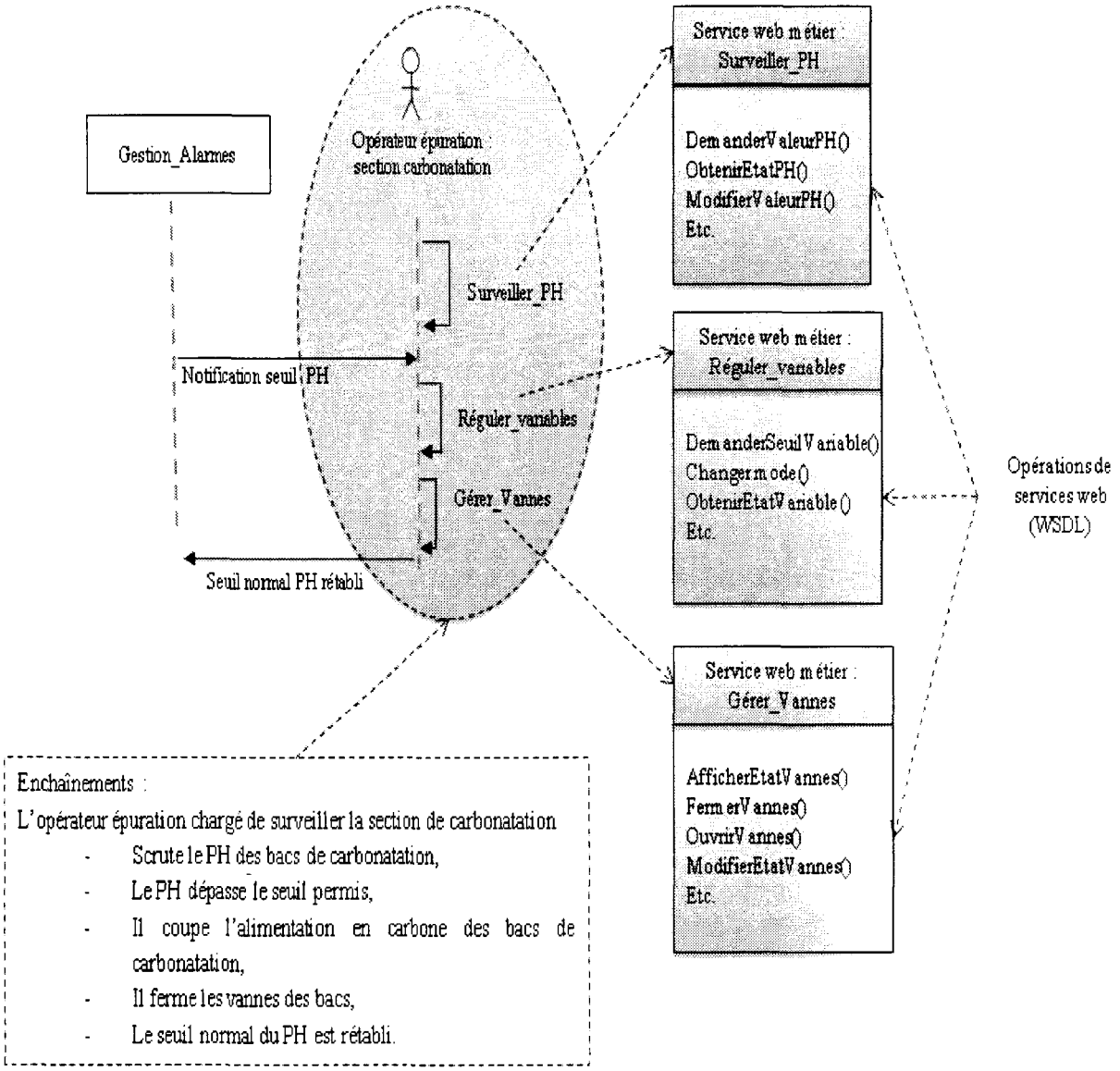

Figure 5.23. Exemple de services web exprimant l'enchaînement 1 du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*

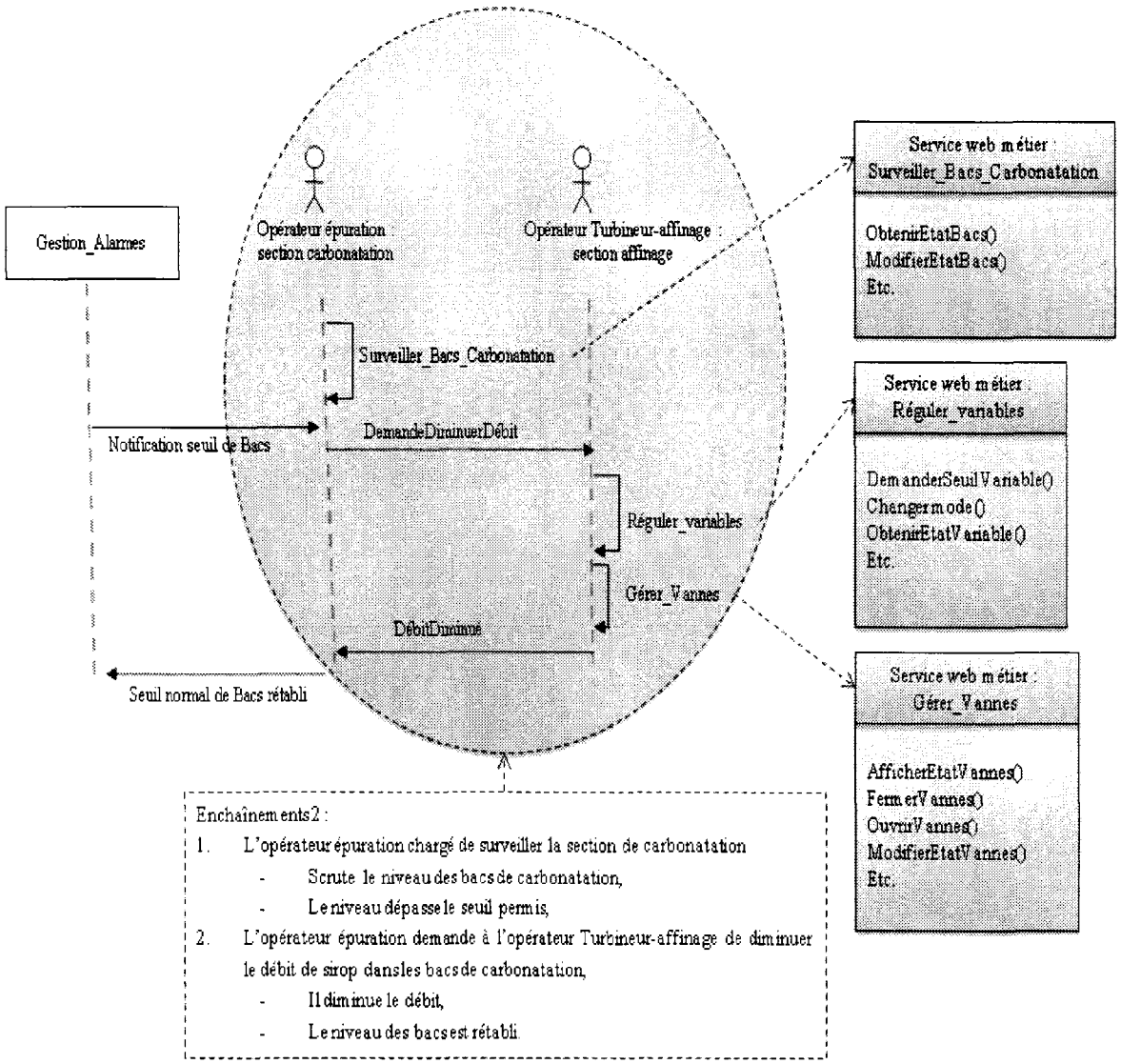

Figure 5.24. Exemple de services web exprimant l'enchaînement 2 du cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*

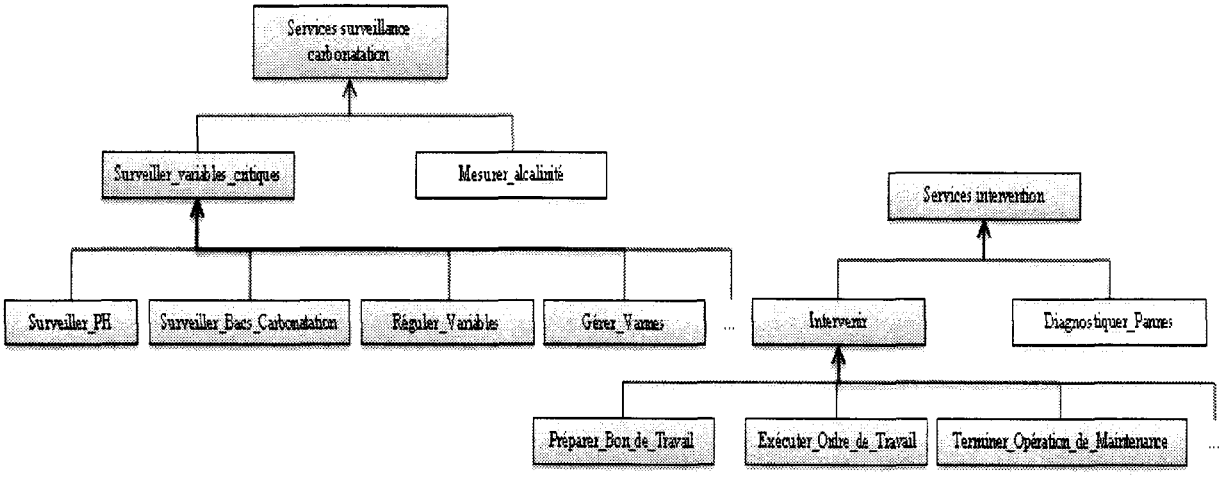

Figure 5.25. Exemple de cartographie des services web relatifs aux catégories des services web métier

A l'issue de l'identification de l'ensemble des services web candidats exprimant les besoins métier, nous obtenons un modèle de services exprimant ou décrivant l'ensemble des services web des opérations associées comme illustré par la figure 5.26. Ceci exprime l'ensemble des fonctionnalités de supervision à l'aide de services web.

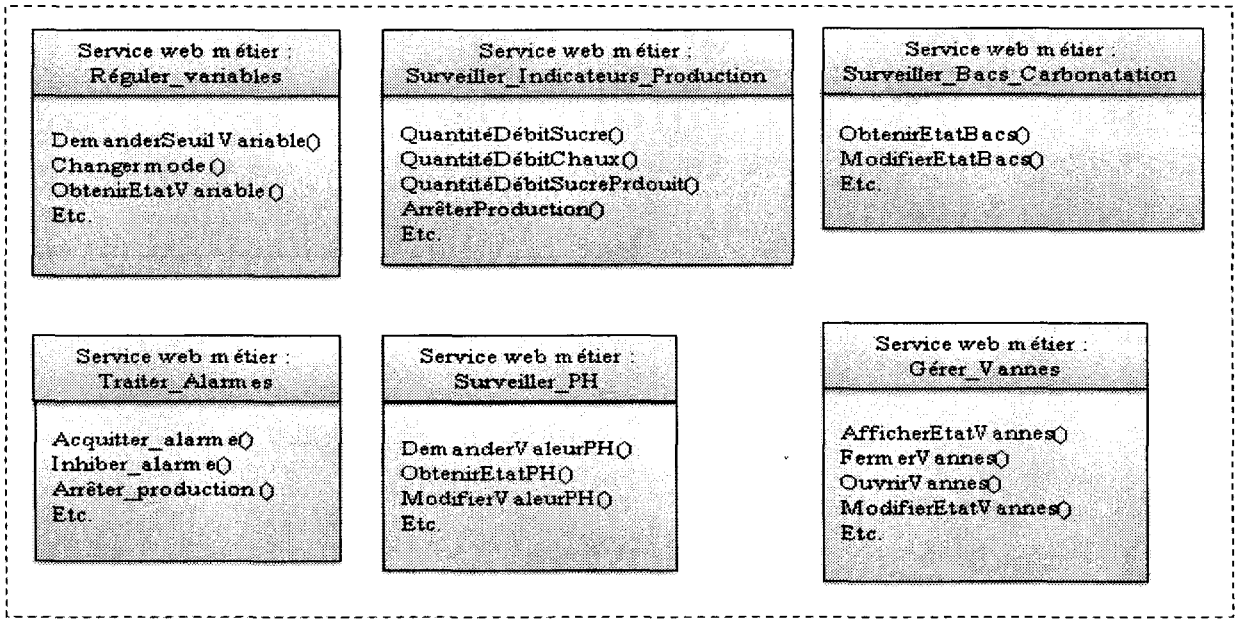

Figure 5.26. Ensemble de services web avec leurs opérations correspondantes

Dans cette première partie de la phase 2, nous avons montré comment les besoins métier extraits des scénarios existants pouvaient être exprimés à l'aide de services web. A présent, il s'agit d'exprimer les besoins vis-à-vis de la mobilité des acteurs humains et des tâches coopératives à travers de nouveaux scénarios de supervision.

Expression des besoins vis-à-vis de la mobilité des acteurs humains

Dans cette section, afin d'exprimer des fonctionnalités dédiées mobilité en termes de services web, nous procédons globalement comme suit :

- nous identifions les scénarios potentiels de supervision pour lesquels des acteurs humains de l'organisation étudiée sont nomades ou ceux qui sont susceptibles de le devenir. Les besoins vis-à-vis de la mobilité expriment ou mettent en avant des scénarios en rapport avec des situations de supervision particulières. Celles-ci correspondent (ou sont associées) à des contextes bien définis. Les principales classes de scénarios de mobilité que nous avons identifiées sont les suivantes : la gestion d'astreinte, la gestion de relève de postes opérateur, la gestion des interventions et de la maintenance à distance, etc.

- Pour chacune des classes de scénarios identifiées, nous procédons d'une façon similaire que précédemment dans la première partie de cette étape. A l'issue de cela, nous obtenons des services web dédiés mobilité relatifs à la gestion des astreintes, à la gestion de relève de postes, à la gestion des interventions et de la maintenance, etc. Ceux-ci peuvent être exprimés comme ceux de la figure 5.26 ci-dessus.

- Pour chaque service web en question, nous caractérisons son contexte d'utilisation. Celui-ci est décrit à l'aide d'un ensemble d'éléments d'informations telles que : la classe de scénario, l'identification du service, l'identification du profil utilisateur, l'identification de l'utilisateur, l'identification du contexte d'exécution ou d'utilisation, les tâches de supervisions visées, les conditions d'utilisation du service et l'identification du périphérique utilisé que nous illustrons à l'aide du tableau 5.3

Classe de scénarios	Services web dédiés mobilité	Profils acteurs humains concernés	Identification Acteurs humains	Tâches de supervision visées	Conditions d'utilisation du service web	Profils de dispositif d'accès utilisés	Localisation d'utilisation du service web
Gestion des astreintes							
Gestion de relève de postes opérateur							
Gestion des interventions et de la maintenance à distance							
Etc							

Tableau 5.3. Extrait du contexte d'utilisation des services web dédiés mobilité

Expression des besoins vis-à-vis des tâches coopératives des acteurs humains

Dans cette section, afin d'exprimer des tâches de supervision pouvant être accomplies au niveau de l'organisation étudiée d'une façon coopérative en termes de services web, nous procédons globalement comme suit :

- nous identifions les scénarios potentiels de supervision pour lesquels des acteurs humains de l'organisation étudiée exécutent leurs tâches d'une façon coopérative.

- L'expression de ces tâches coopératives en termes de services web est conduite aussi d'une façon similaire à celle décrite dans la première partie de cette étape. Néanmoins, ces services web exprimant des tâches coopératives sont des services web de forte granularité. Ceux-ci sont ensuite décomposés en services web de granularité inferieure (ou faible) de telle sorte que lorsqu'ils sont orchestrés (exécutés suivant une logique métier), ceux-ci concourent à la réalisation de la tâche de supervision. Ainsi, un acteur humain de supervision intervient en fonction de son profil dans une optique de coopération sur ces services web réalisant ainsi la fonctionnalité du service web composite comme illustré par le tableau 5.4 et la figures et 5.27.

Tâches coopératives de supervision	Sous-tâches	Services web composés (gros grains)	Services web élémentaires (grain fins)	Profils acteurs humains concernés	Acteurs humains concernés
Surveiller les variables critiques relatives à la section de la carbonatation	Surveiller la variables relative au PH de la carbonatation	Surveiller_variables_critiques	Surveiller_PH	Opérateurs de la section 1	Opérateur épuration
	Surveiller la variable relative au niveau des bacs de la carbonatation		Surveiller_bacs_carbonatation	Opérateurs de la section 2	Turbineur affinage
	Etc.		Etc.		
Etc.					

Tableau 5.4. Extrait de l'expression des tâches coopératives de supervision à l'aide de services web

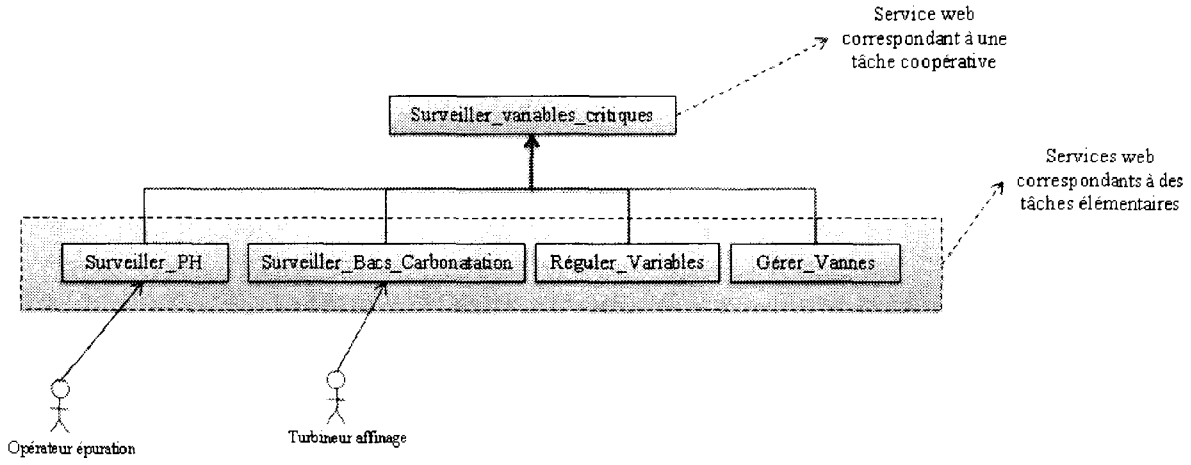

Figure 5.27. Exemple de l'expression d'une tâche coopérative de supervision à l'aide de services web

Définition des acteurs humains impliqués dans un processus métier de supervision

Rappelons que lors de la phase 1 (analyse des utilisateurs), une partie des acteurs humains relevant des processus métier de supervision existants a déjà été identifiée.

A l'issue de l'expression des besoins vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives ci-dessus, d'autres profils d'acteurs humains doivent avoir été identifiés en conséquence (voir profils visibles en tableau 5.3 et en figure et 5.27). On peut citer entre autres des opérateurs d'astreinte pouvant intervenir à distance, des ingénieurs commerciaux qui ont besoin de passer des commandes ou de connaître l'état des stocks, des opérateurs techniciens chargés de la maintenance d'une infrastructure ou d'une installation géographiquement distribuée, ou encore des opérateurs de relève de poste, etc.

Ainsi, ces profils supplémentaires sont rajoutés au référentiel global de profils défini précédemment, §II.3 (rappel : cf. celui-ci en annexe E).

III.3. Conclusion sur la phase 2

Dans cette phase, nous avons mené une 2ème analyse des besoins des principaux acteurs métier impliqués dans l'organisation existante afin de capter d'autres besoins manquants, et d'identifier d'autres acteurs humains potentiellement concernés. Nous avons exprimé ces besoins en termes de services web vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives des acteurs humains à travers deux étapes.

La première étape consiste à catégoriser les services web métier identifiés lors de la phase précédente et relatifs aux cas d'utilisation métier et à identifier des services web candidats exprimant une ou plusieurs opérations. Ceci donne lieu à des paquetages ou modèles de cas d'utilisation de services métier contenant des fonctionnalités métier de supervision exprimant les différents besoins de l'organisation existante.

L'étape 2 consiste à exprimer les besoins identifiés en termes de services web d'une part et de capter d'autres besoins vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives des acteurs tout en identifiant aussi d'autres acteurs impliqués dans des scénarios de mobilité et de coopération de tâches.

Ces informations sont ensuite exploitées dans la phase 3 de spécification et conception de l'IHM.

IV. Phase 3 : Spécification et conception de l'IHM

Nous allons illustrer cette phase à l'aide d'un scénario correspondant à un processus métier de supervision. Ce scénario représentatif exprimé à l'aide des figures 5.17, 5.18, 5.19, 5.21, 5.23, 5.24 de la phase 2, met globalement en interaction trois services métier différents (figure 5.17). Un service web relatif à la gestion des alarmes qui interagit avec un service web relatif à la supervision de process (services surveillance carbonatation) et un service web relatif à la gestion de la maintenance (services intervention) (figure 5.28).

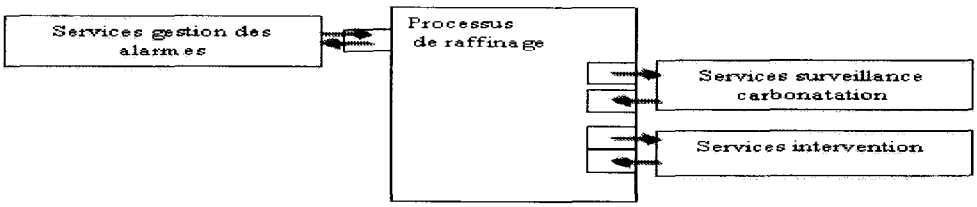

Figure 5.28. Schématisation des interactions des différents services web

Cette phase 3 se composera de trois étapes, en cohérence avec le chapitre précédent (cf. chapitre IV, figure 4.5).

IV.1. Étape 1 : Spécification de l'interaction homme-machine

Dans cette étape, pour des raisons de simplification, nous ne considérons que le cas des interactions des services web mis en avant dans les enchainements 1 et 2 illustrés à l'aide des figures 5.23 et 5.24 de la phase 2 ; ceci concerne le cas d'utilisation

surveiller_variables_critiques (figure 5.21). Le service *surveiller_variables_critiques* est un service composé faisant appel à son tour à d'autres services élémentaires.
Nous commençons par définir les participants ou liens partenaires mis en avant dans le processus. A travers les figures évoquées ci-dessus, nous pouvons aisément identifier les différents participants au processus métier de raffinage et particulièrement celui qui est relatif au cas *surveiller_variables_critiques*.

Les participants humains mis en évidence dans les enchaînements 1 et 2 (voir figures) sont : (1) *l'opérateur épuration*, (2) *le Turbineur affinage*.

Les services web participants mis en évidence dans les enchaînements 1 et 2 sont : (1) *surveiller_PH*, (2) *surveiller_bacs_carbonatation*, (3) *réguler_variables*, (4) *gérer_vannes*.

Nous exprimons cela à l'aide de la figure 5.29.

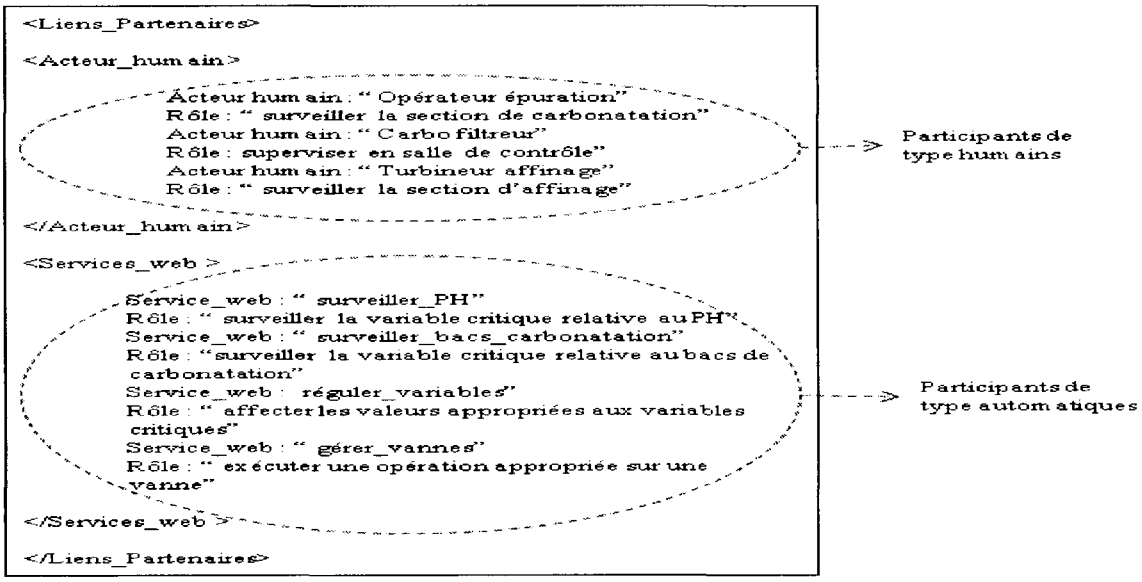

Figure 5.29. Exemple de définition des liens partenaires dans le processus métier relatif au cas d'utilisation *surveiller_variables_critiques*

Ensuite, nous spécifions les types de données et des messages échangés (messages en entrée, messages en sortie et messages d'erreur) à travers des variables traduisant les différents traitements et manipulations mis en œuvre durant les interactions entre les différents services web participants (humains et automatiques).

Dans notre cas simplifié, nous exprimons cela à l'aide des éléments visibles dans les figures 5.30, 5.31 et 5.32.

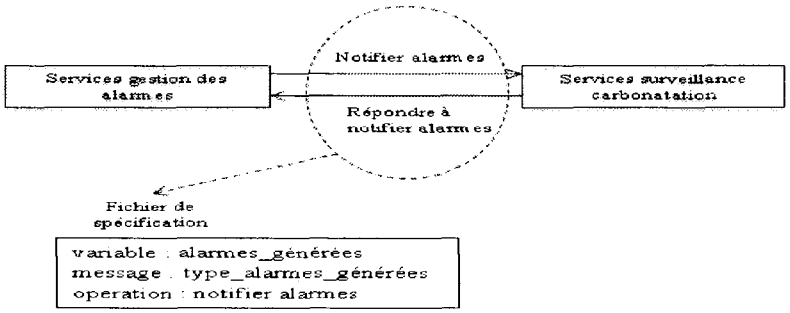

Figure 5.30. Exemple d'interaction entre services gestion des alarmes et services surveillance carbonatation

Dans la figure 5.30 ci-dessus, un service participant particulier parmi les services gestion des alarmes invoque ou appelle l'opération *notifier alarmes* pour informer un autre service web particulier parmi les services surveillance carbonatation de l'apparition d'une alarme. L'interaction ou l'échange se fait à travers la variable *alarme_générée* en utilisant le message *type_alarmes_générées* en entrée. Nous supposons qu'il n'y a pas de réponse attendue ni d'erreur éventuelle lors de l'interaction.

Dans la figure 5.31 suivante, un service participant particulier parmi les services surveillance carbonatation invoque ou appelle l'opération *demanderintervention* d'un autre service web particulier parmi les services intervention à exécuter. L'interaction ou l'échange se fait à travers la variable *intervention_demandée* en utilisant le message *demande intervention* en entrée, le message *réponse intervention* en sortie et le message *erreur intervention* comme message d'erreur éventuel.

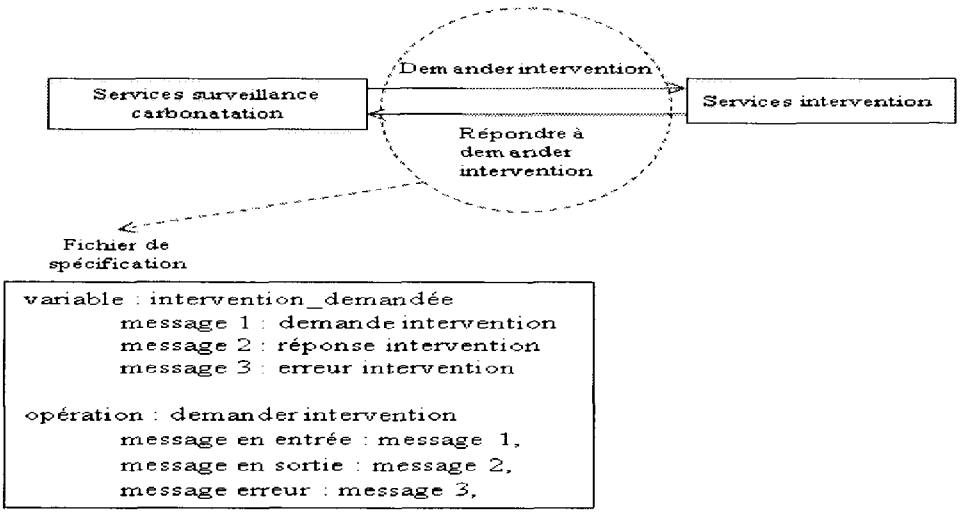

Figure 5.31. Exemple d'interaction entre services surveillance carbonatation et services intervention

La figure 5.32 suivante exprime les éléments suivants : (1) le participant humain correspondant à l'opérateur épuration invoque ou appelle l'opération *demandervaleurPH* du service web *surveiller_PH* à exécuter. L'interaction ou l'échange se fait à travers la variable *niveau_PH_carbonatation* en utilisant le message *demande_valeur_PH* en entrée, le message *accusé_reception_demande* en sortie et le message message_*erreurPH* comme message d'erreur éventuel ; (2) les services web participants *surveiller_PH* et *réguler_variables* interagissent via

la variable *niveau_PH_carbonatation*, où le service *surveiller_PH* invoque ou appelle l'opération *demanderseuilvariable* du service web *réguler_variable* à exécuter en utilisant le message *valeur_PH* en entrée, le message *réponse_tauxPH* en sortie.

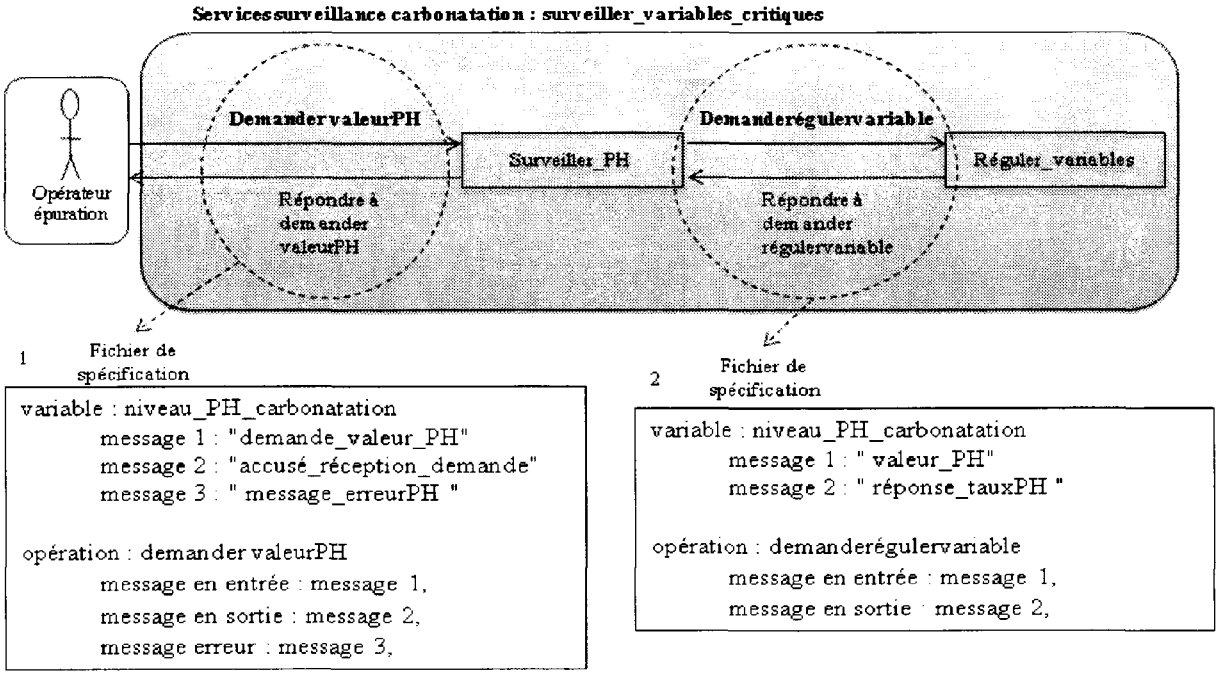

Figure 5.32. Exemple d'interaction entre (1) un service participant humain et un service participant automatique surveiller_PH, (2) deux services participants automatiques *surveiller_PH* et *réguler_variables*

Les illustrations données dans les figures 5.29, 5.30, 5.31 et 5.32 ci-dessus expriment deux éléments concernant la spécification de l'interaction homme-machine de supervision à base de services web. Ce sont (1) les participants au processus métier de supervision d'une part, (2) les variables et messages à travers desquelles les interactions se font d'autre part.

A présent, nous allons considérer un troisième élément de cette spécification à savoir celui de la logique métier du processus de supervision. Celle-ci va être spécifiée globalement à l'aide des deux principaux types d'activités : activités de base et activités structurées. Il s'agit par conséquent, de créer les activités des différents services web interagissant.

L'exemple donné en figure 5.30 ci-dessus peut être exprimé globalement à l'aide d'un scénario mettant en œuvre les activités des services web visibles en figure 5.33.

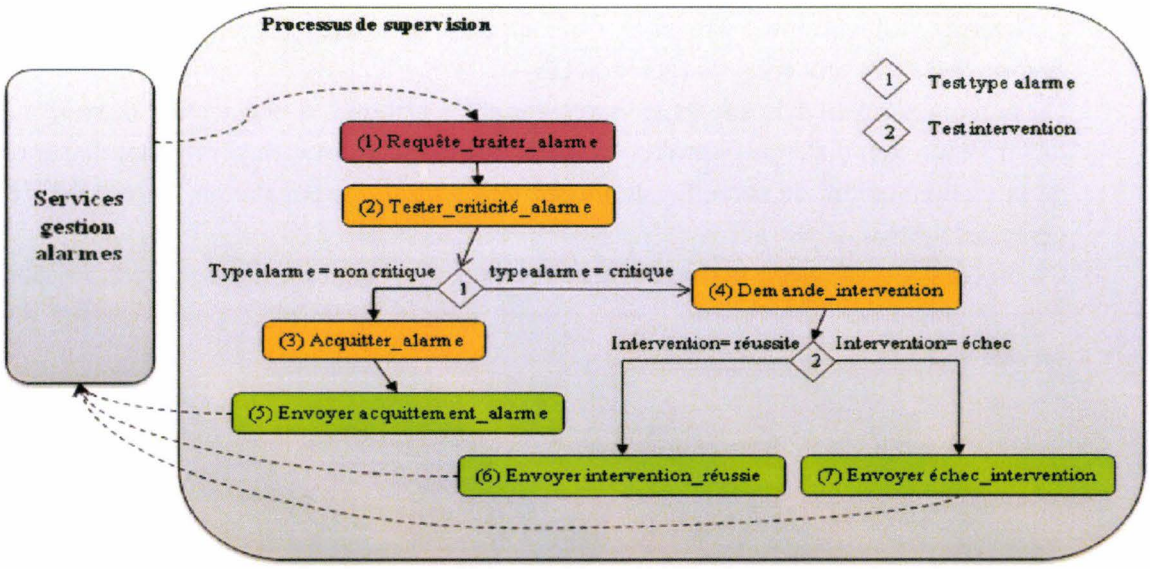

Figure 5.33. Expression d'un scénario de supervisons à l'aide des activités des services web

Dans la figure 5.33, nous avons exprimé un processus de supervision à l'aide des activités de services web suivantes :

- une activité *recevoir une requête (1) en provenance de services web partenaires externes* (services gestion alarmes) : dès la réception de la requête de traitement d'une alarme, l'orchestration du processus de supervision commence par exécuter l'opération *traiter_alarme* ;
- trois activités *invoquer une opération de service web (2, 3 et 4)* : l'activité n° 2 correspond à l'invocation de l'opération *tester_criticité_alarme* avec comme message d'entrée possible le type d'alarme générée et comme réponse possible alarme critique ou alarme non critique. A l'issue du résultat de l'activité n°2, on a soit l'activité n°3 correspondant à l'invocation de l'opération *acquitter_alarme*, ou l'activité n°4 correspondant à l'invocation de l'opération *demande_intervention* fournie par un service web partenaire (services intervention). Notons que les activités 3 et 4 sont des activités conditionnelles. Par ailleurs, l'activité 3 est une activité humaine puisqu'elle peut être exécutée par un partenaire humain (acteur humain) ;
- trois activités de type *répondre à une requête (5, 6 et 7)*, en jonction avec l'activité *recevoir une requête traiter_alarme*, les activités n° 5 et 6 correspondent respectivement à l'exécution de l'opération : *envoyer acquittement_alarme* avec envoi de message d'acquittement d'alarme comme réponse et *envoyer intervention_réussie* avec envoi de message de réussite de l'intervention ; en revanche, l'activité n° 7 correspond à l'exécution de l'opération *envoyer échec_intervention* avec envoi d'un message d'erreur comme réponse.

Ainsi d'une façon similaire, nous pouvons exprimer les processus de supervision relatifs aux scénarios des exemples schématisés par les figures 5.31 et 5.32 ci-dessus à l'aide des activités de services web. En revanche, ceux-ci nécessitant une structure complexe peuvent être exprimés entre autres à l'aide de *séquence d'activités ordonnées*, *d'activité parallèle*, ou encore *activité composée*.

La figure 5.34 donne une illustration du scénario suivant : on suppose que le superviseur en chef gère les accès à différentes sections de la raffinerie. L'accès est donné en fonction du profil de

l'opérateur et des tâches à effectuer. Ceci suppose donc l'existence de services web relatifs à la gestion des accès aux sections (gérer_accès).
Un processus relatif à la supervision des variables critiques d'une section donnée met en œuvre ou en interaction différents services web tels que les services web permettant de superviser le PH de la carbonatation, de surveiller le niveau des bacs de carbonatation, de réguler des variables, gérer des vannes, gérer_accès.
Ce processus commence par recevoir et accepter une demande d'accès à ces variables émanant d'un opérateur de supervision donné (profil donné) par le biais d'un message d'entrée d'un service web.

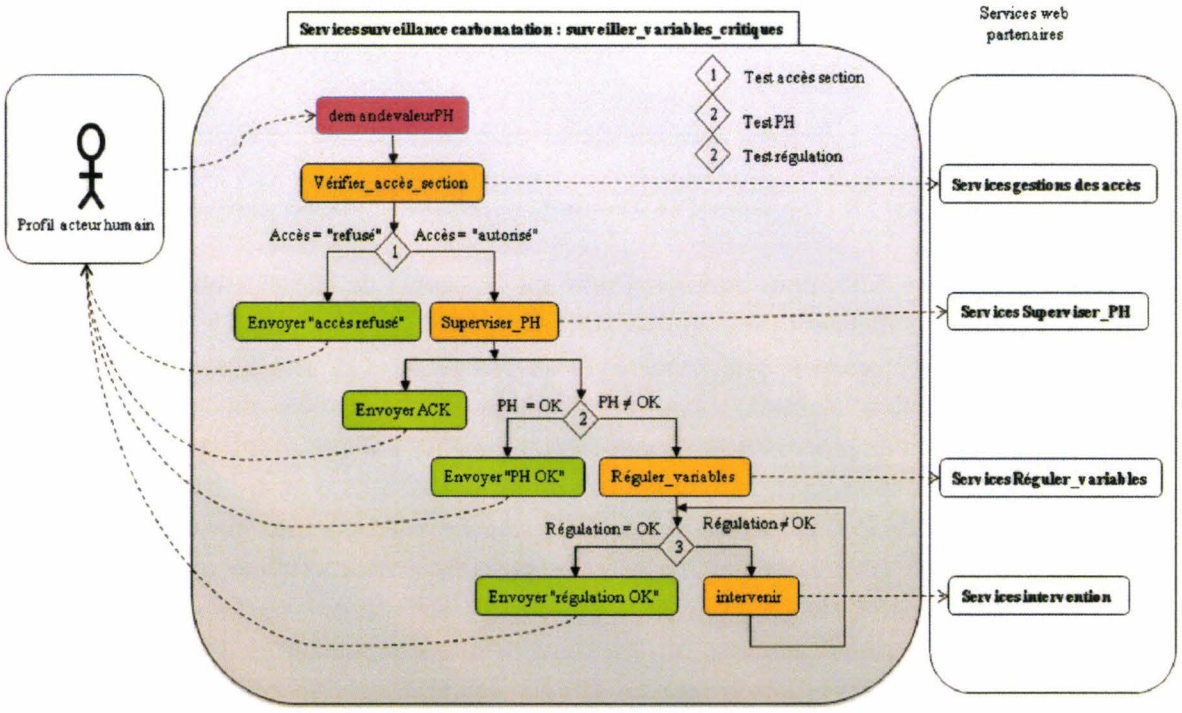

Figure 5.34. Expression d'un scénario de supervision à l'aide des activités des services web

Dans cette étape, nous avons illustré à l'aide d'exemples et de représentations schématiques deux scénarios de supervision, mettant en avant quelques éléments de spécification en rapport avec l'orchestration de services (cf. chapitre 2, §. III), nous permettant de considérer l'interaction homme-machine ou la logique métier de supervision basée sur les services. Dans l'étape suivante nous allons nous intéresser à la spécification de l'interface utilisateur associée aux services web mis en œuvre dans le scénario de supervision.

IV.2. Étape 2 : spécification de l'interface utilisateur

Nous allons illustrer cette étape à l'aide du scénario de supervision représenté par la figure 5.34 décrite dans l'étape précédente.
Nous considérons essentiellement les services web orientés présentation ou interface utilisateur correspondant au service web de supervision agrégé *surveiller_variables_critiques*. Celui-ci fait appel aux autres services web élémentaires : (1) *superviser_PH*, (2) *surveiller_bacs_carbonatation*, (3) *réguler_variables* et (4) *gérer_vannes*.

Par ailleurs, nous supposons que les services élémentaires ci-dessus sont rendus disponibles durant l'exécution ou déroulement du processus de supervision via une interface utilisateur, et pour laquelle nous devons identifier les différents objets d'interaction mis en œuvre dans le scénario en question. Seule l'interface utilisateur associée au services web élémentaires *superviser_PH* et *réguler_variables* est décrite à titre illustratif.

Quels sont les objets d'interaction correspondants au service web agrégé et quels les objets d'interaction correspondants aux services web élémentaires ? Ces composants d'interface utilisateur correspondent aux descriptions des messages échangés entre l'utilisateur et les services de supervision (cf. chapitre 4, figure 4.45).

Dans notre exemple de service web *superviser_PH*, les messages échangés entre l'utilisateur et les services web se composent potentiellement de :
- type de message *demande_valeurPH* en entrée par lequel *l'opérateur épuration* souhaite connaître la valeur du PH de la carbonatation en cours, transmis à travers la variable d'interaction ou d'échange *niveau_PH_carbonatation* (figure 5.35 ci-dessus),
- type de message en sortie pouvant être par exemple un accusé de réception pour la demande *accusé_reception_demande* ou encore la valeur du PH *valeur_PH*,
- type de message comme message d'erreur : *message_erreurPH*,
- l'opération de service web *demande_valeurPH* à invoquer,
- objets interactifs ou éléments d'interface mis en œuvre au cours de cet échange,
- informations de présentation visuelle de ces éléments,
- etc.

La figure 5.35 montre quelques constituants de type de message échangés

```
<message ="demande valeurPH">
                <champs 1="nom variable process" />
                 <champs 2="nom section" /
</message>

<message ="erreur valeurPH">
                <Champs 1="code erreur"/>
                <Champs 2 ="libellé code erreur"/>
</message>
```

Figure 5.35. Exemple de quelques constituants de type de message échangés

Après avoir dressé les différents éléments de spécification de l'interface utilisateur associé au service web *superviser_PH*, nous présentons une description potentielle ou document de spécification de l'interface utilisateur comme suit (figure 5.36) :

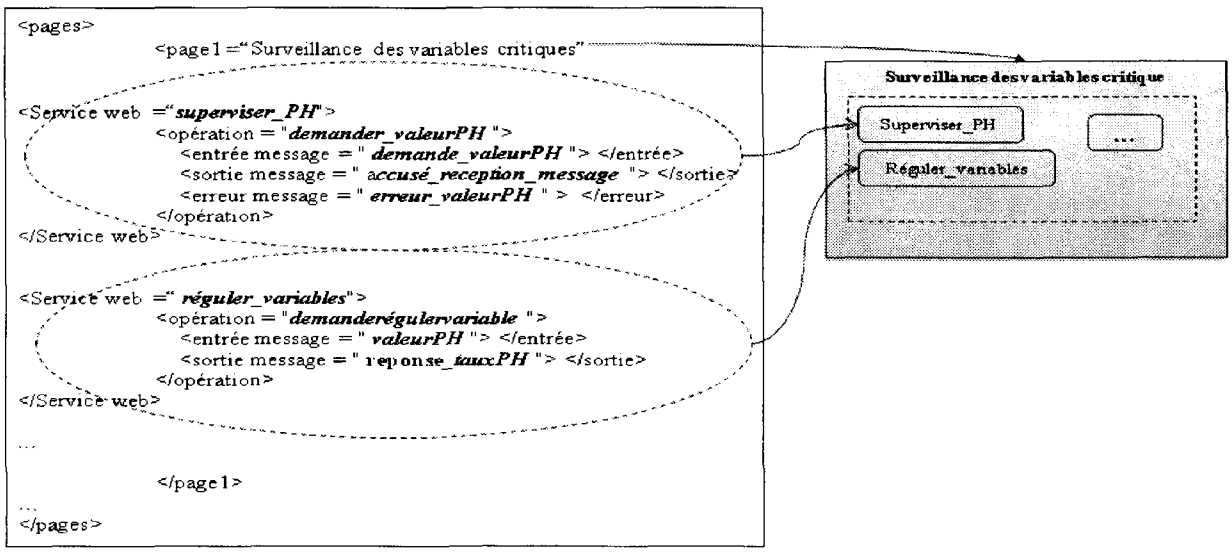

Figure 5.36. Exemple de spécification de l'interface utilisateur du service web *superviser_PH*

- Une section *Page* qui spécifie un ensemble de pages écrans, chacune spécifiant un ensemble d'opérations de services web relatifs à la section de carbonatation (ex. afficher(), ouvrir(), fermer(), etc.),
- Une section *Éléments* qui spécifie un ensemble d'éléments d'interface utilisateur permettant de produire ou de générer l'affichage des éléments dans la page écran correspondante. On décrit plusieurs éléments par page écran avec leurs opérations respectives.
- Une section *Opérations* qui spécifie des opérations permises sur les éléments d'interface,
- Une section *Présentation* qui spécifie les aspects visuels ou de présentation des éléments.
- Etc.

Ainsi tous les éléments d'interface ont été spécifiés d'une façon abstraite sans se soucier des aspects techniques ou d'implémentation quant aux rendus de l'interface finale. Nous considérons cet aspect principalement sous l'angle du maquettage/prototypage dans l'étape 3 suivante.
Notons aussi que, en se référant à la démarche globale de type UP décrite dans le chapitre précédent et dans laquelle nous nous inscrivons, différents cycles intégrant des évaluations avec les utilisateurs permettent progressivement d'affiner, de compléter ces éléments de spécification, et de s'orienter progressivement vers la conception, puis l'implémentation (qui ne sont pas traitées dans ce mémoire).

IV.3. Étape 3 : maquettage et prototypage de l'IHM

A l'issue de l'étape précédente où nous avons traité de la spécification de l'IHM de supervision (interactions homme-machine mises en œuvre) à l'aide de services web, nous avons procédé par scénarios en vue d'arriver à des fonctionnalités exposées sous formes de services web. Nous avons montré en partie comment mettre en évidence des éléments d'interface à associer aux services web. Cependant, le travail de spécification étant un travail ardu et souvent incomplet avant d'entamer la conception et l'implémentation des différents services web, cette étape de maquettage servira comme étape préalable pour la suite du processus.

Afin d'illustrer cette étape en concordance avec ce qui a été avancé et réalisé dans les étapes précédentes, nous allons considérer le scénario global et représentatif de la supervision avancée déjà introduit dans le chapitre 1 afin de situer différents aspects de l'IHM caractérisant le scénario.

Illustration à l'aide d'un scénario

Le scénario concerne un *service de gestion d'astreinte* dans lequel un opérateur d'astreinte contacté par un superviseur en chef, après authentification, accède à un ensemble de services interactifs dédiés supervision. L'opérateur d'astreinte accède en premier lieu à une vue d'ensemble de services personnalisée selon son profil utilisateur. Il accède ensuite à une vue de services supervision à travers laquelle il accède directement à la vue services relative aux différentes sections lui permettant d'accéder à la section carbonatation (objet de notre focalisation) et intervention sur celle-ci. Lors de son intervention sur cette section, il dispose d'un ensemble d'outils et de services lui permettant de consulter et collaborer avec d'autres acteurs externes de l'organisation. A l'issue du dénouement de la situation, il rend compte au superviseur en chef en lui communiquant différents rapports. Le contexte d'exécution du scénario peut être schématisé globalement à l'aide de la figure 5.37.

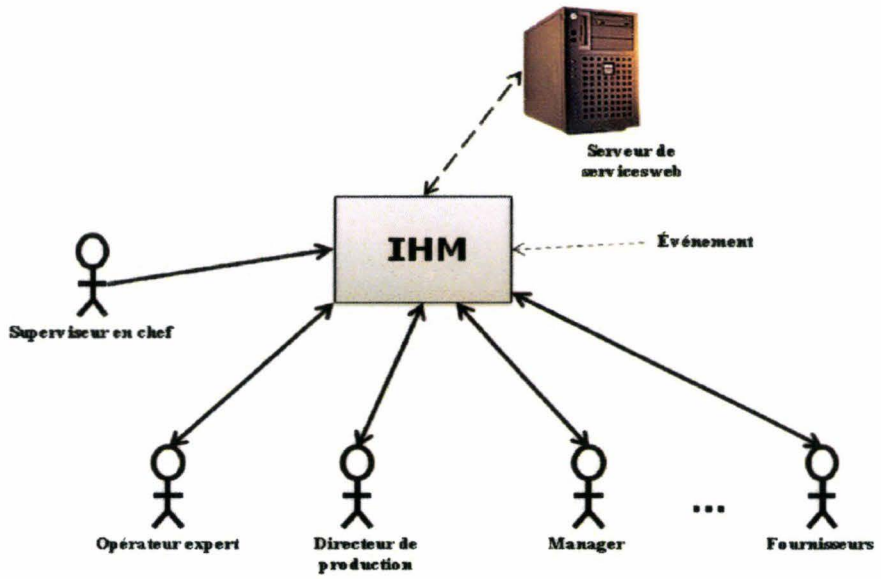

Figure 5.37. Vue globale du contexte d'exécution du scénario

Par ailleurs, le scénario étudié et traité suivant les phases précédentes de la démarche peut aboutir par exemple à mettre en évidence un ensemble de services web interagissant (figure 5.38) : (1) un service de notification ou d'alerte permettant au superviseur en chef d'informer, notifier et alerter d'autres acteurs humains suivant leur profil, (2) un service d'authentification dont le rôle est de vérifier puis authentifier un acteur humain et d'autoriser l'accès suivant le profil, (3) un service permettant un affichage personnalisé et proposant un ensemble de services dédiés supervision suivant le profil des acteurs humains, (4) un service de collaboration permettant aux différents acteurs humains d'interagir et de collaborer avec leur collègues, des clients, partenaires, fournisseurs, etc.

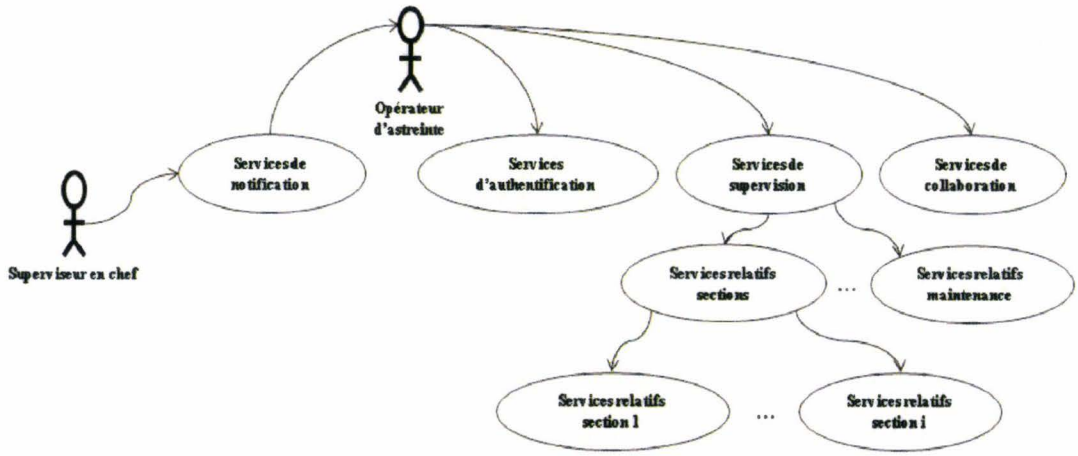

Figure 5.38. Exemple de services relatifs au scénario

La figure 5.39 illustre la logique d'utilisation d'un système de supervision à travers son IHM décrivant le scénario ci-dessus [Idoughi et Kolski, 07].

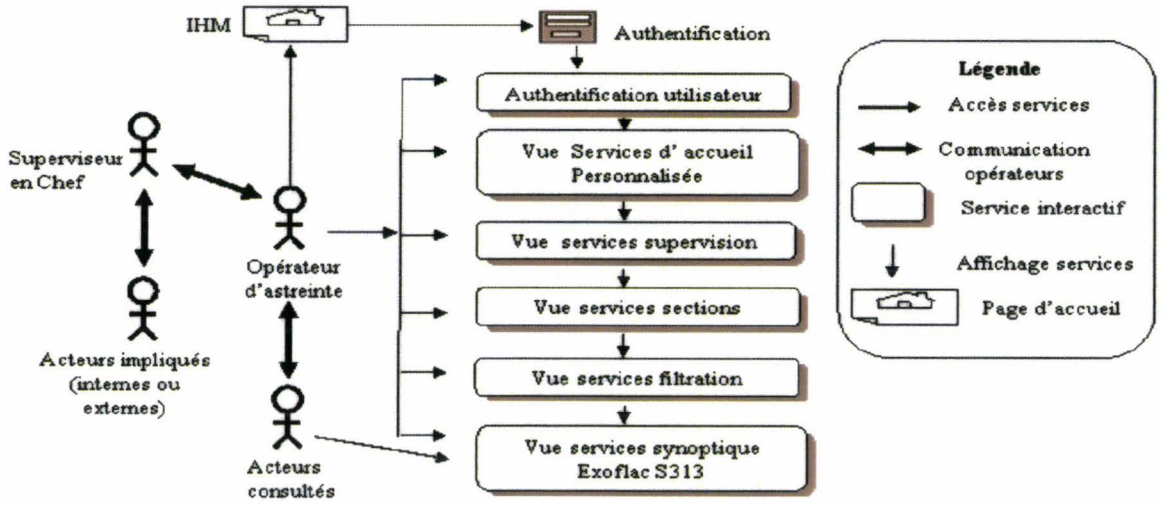

Figure 5.39. Illustration du scénario sous l'angle de l'IHM

Illustration par maquette d'IHM

Nous allons illustrer d'une façon succincte le scénario associé à la spécification visible en figure 5.39 ci-dessus à l'aide de quelques maquettes représentatives pouvant évoluer ensuite vers des prototypes avancés. Pour cela, nous proposons un ensemble de maquettes montrant l'évolution de l'IHM pour la séquence d'enchaînement suivante :

1. L'opérateur expert décide d'accéder au système de supervision de son entreprise à travers son portail (agrégation et intégration de services), via des services implémentant les différents outils, et facilitant les tâches à accomplir par l'opérateur.
2. Le système demande l'identification de l'opérateur en invoquant le service d'authentification (figure 5.40).

3. L'opérateur s'identifie.
4. Le système procède à une vérification et autorise l'accès en invoquant le service d'identification et d'authentification (zone 3, figure 5.40),
5. En fonction du profil de l'acteur humain ayant été identifié puis autorisé, le système invoque le service d'accueil et d'accès lequel affiche une vue de la page d'accueil personnalisée proposant un ensemble de services dédiés supervision dont les services relatifs à la gestion à distance de supervision par exemple (zone 7) et une liste de tâches opérateurs autorisées ou en cours dont les services dédiés applications verticales de l'entreprise (zone 6) (figure 5.40).

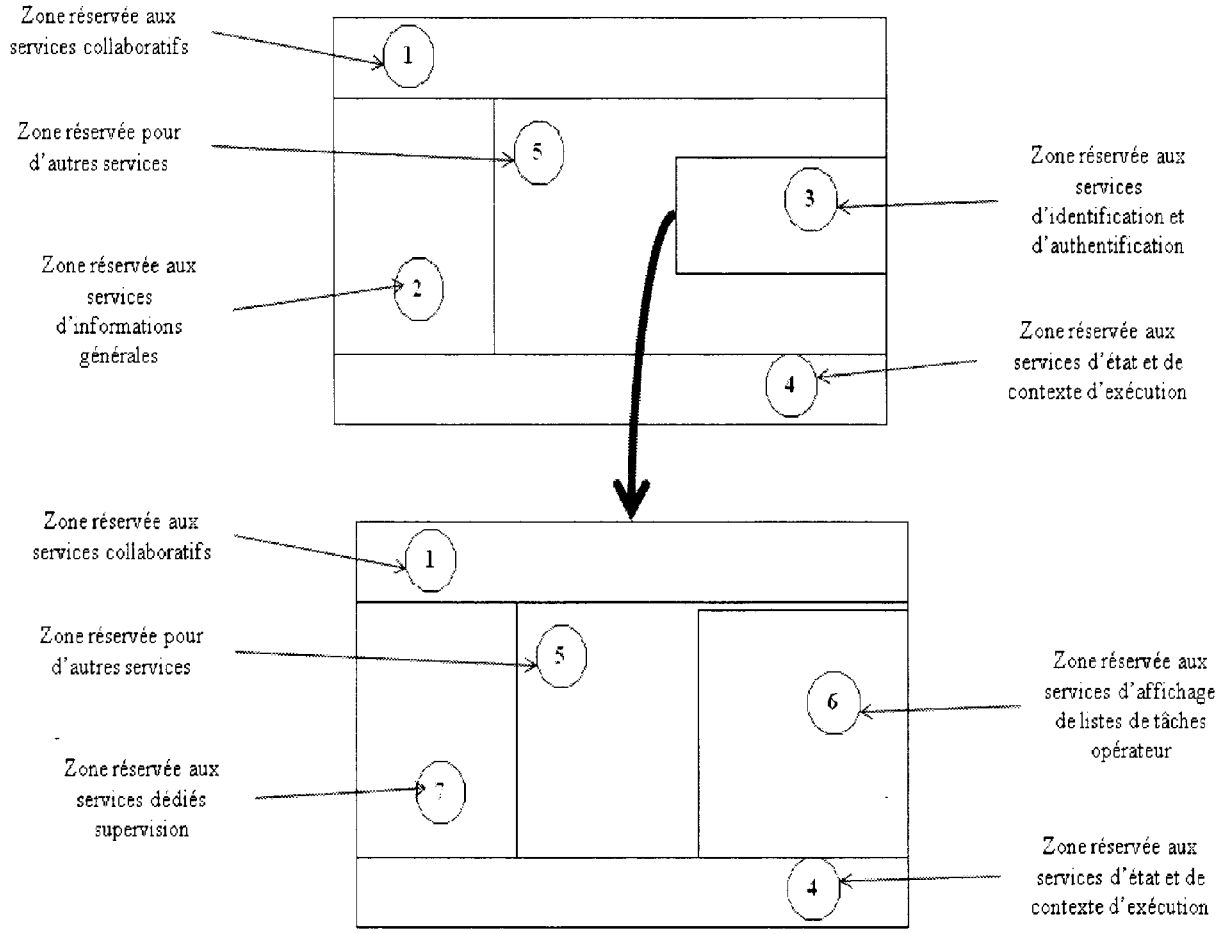

Figure 5.40. Maquette d'authentification et accès opérateur expert distant aux services dédiés supervision

A l'issue de ce qui précède,

6. L'opérateur choisit le lien supervision invoquant le service dédié à la *gestion à distance de supervision* (zone 7, figure 5.40).
7. Le système affiche les différentes tâches dédiées supervision des différentes sections de la raffinerie (zone 8, figure 5.41).
8. L'opérateur choisit le lien *sections* et invoque ainsi le service *d'accès et de gestion à distance de sections*.
9. Le service donne la liste des sections à superviser (zone 10, figure 5.41).

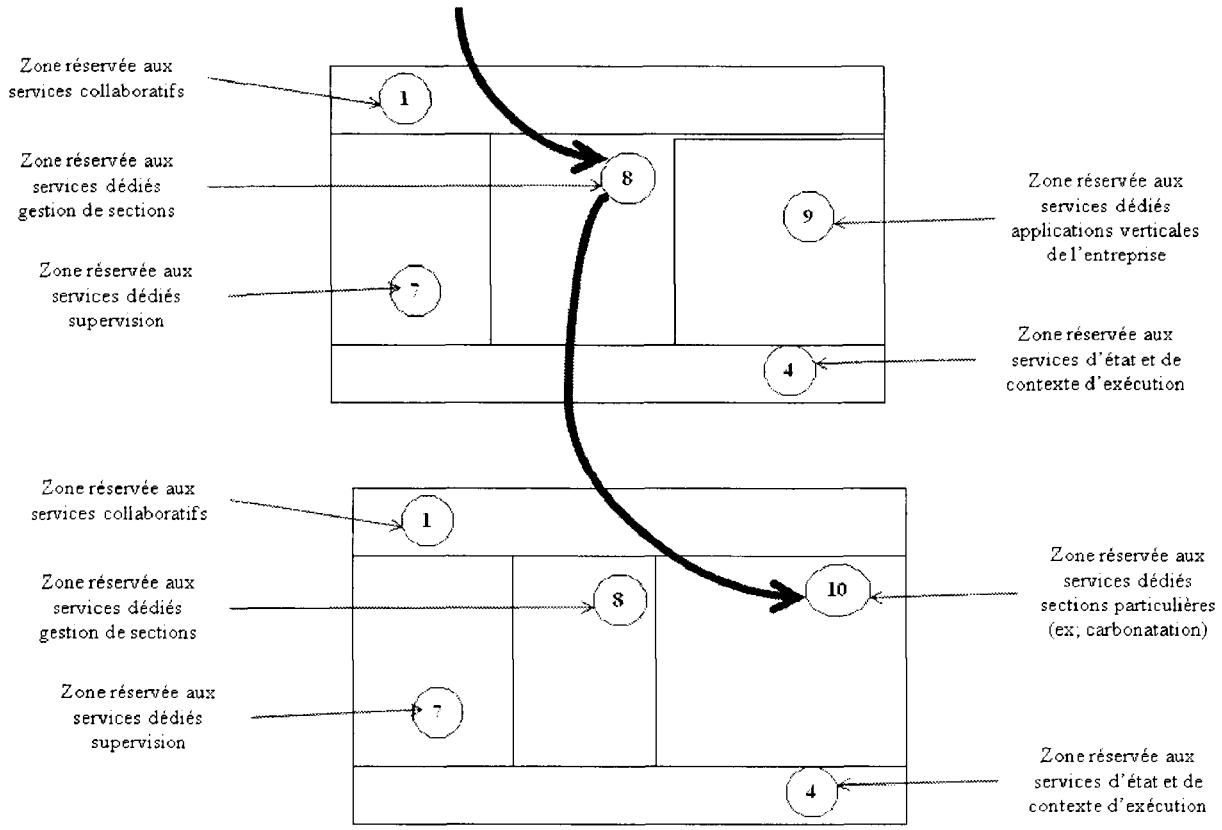

Figure 5.41. Maquette accès opérateur expert aux services dédiés section à superviser

Ensuite,

10. L'opérateur choisit la section *carbonatation* (zone 10, figure 5.41 ci-dessus), objet du scénario choisi en invoquant le service de *gestion de la section carbonatation.*

11. le système affiche une liste de synoptiques relatives à la section *carbonatation* (zone 11, figure 5.42).

12. L'opérateur choisit une des vue synoptiques, par exemple *Exoflac 313* en invoquant ainsi le service dédié *accès et gestion de synoptiques de supervision* (figure 5.42).

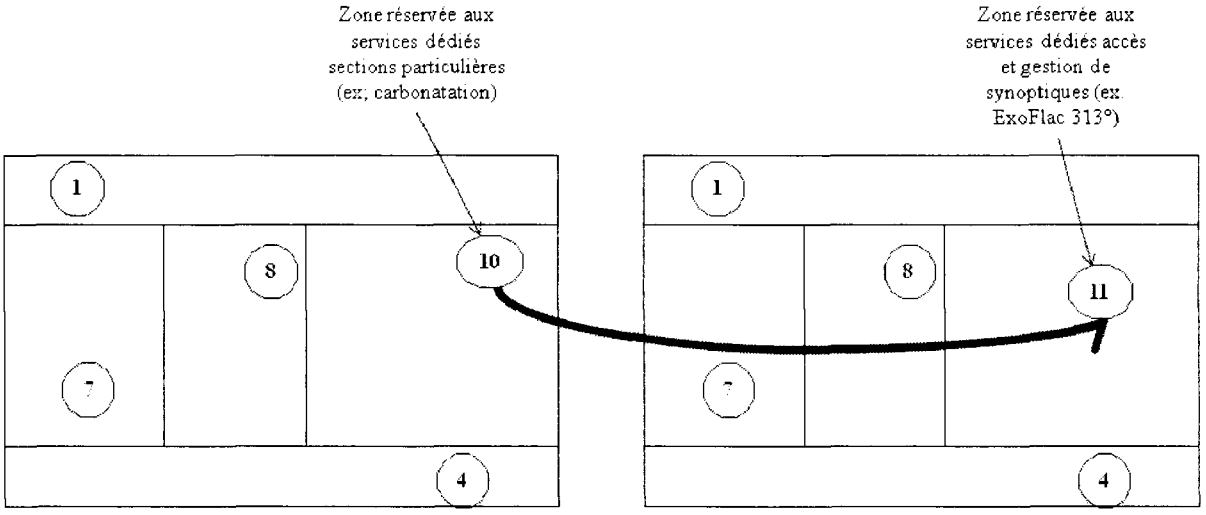

Figure 5.42. Maquette accès opérateur expert aux services dédiés synoptiques à superviser

13. le système affiche le détail du synoptique *Exoflac 313* ; il met à la disposition de l'opérateur toute une panoplie d'outils appropriés gérés chacun par un service dédié différent (zone 1, figure 5.43).
14. L'opérateur, exploitant les différents outils proposés (zone 12, figure 5.43), et en collaborant avec différents acteurs notamment des opérateurs sur le terrain auprès des équipements de la section *carbonatation* utilisant les services disponibles et visibles en zone 1, intervient à distance et la situation est dénouée (figure 5.43).
15. L'opérateur établit un compte rendu détaillé de l'intervention, l'envoie au superviseur en chef directement pour infirmation et une facture pour le service de comptabilité pour règlement.

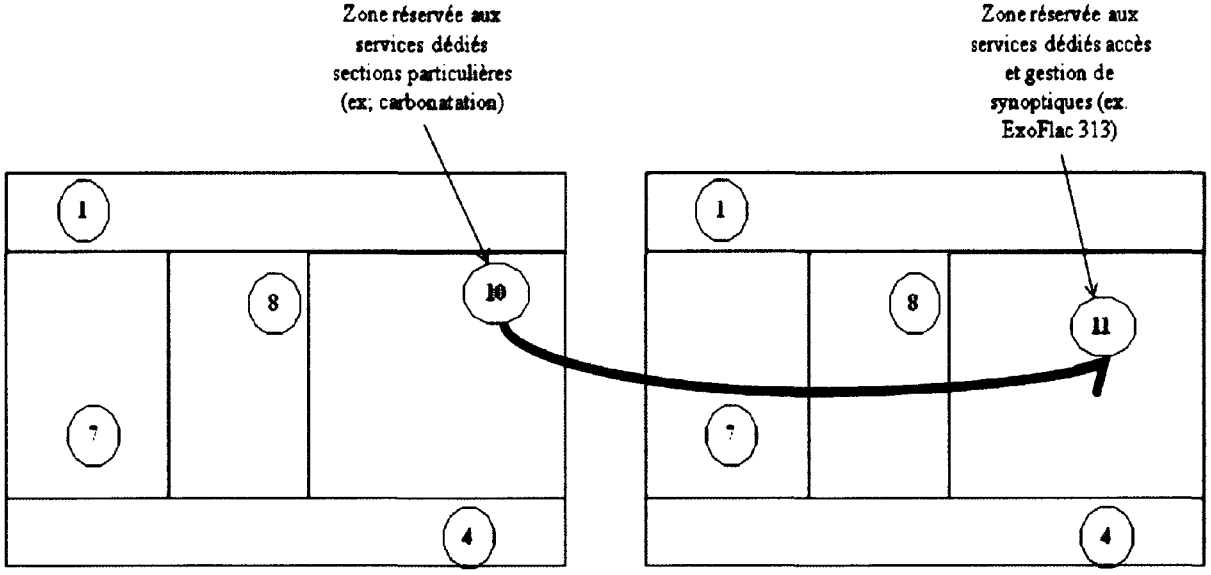

Figure 5.43. Maquette Accès opérateur au synoptique « Exoflac 313 » et collaboration avec certains opérateurs et compte-rendu au superviseur en chef

Nous rappelons que les éléments d'interface constituant les différentes maquettes élaborées ci-dessus devaient être spécifiées en concordance avec ce qui été décrit et présenté dans l'étape 2 précédente et visible en figures 5.35 et 5.36.

Ensuite, nous devons faire évoluer ces différentes maquettes vers des prototypes d'interface à travers un processus itératif et incrémental et d'évaluation. En effet, comme on est dans un processus agile et évolutif, nous pouvons obtenir des prototypes fonctionnels et rapidement modifiables pour une meilleure validation par les différents acteurs humains. Par conséquent, suite aux évaluations précoces avec les acteurs concernés des différentes maquettes, nous arrivons progressivement aux prototypes. Les figures (5.44, 5.45, 5.46, et 5.47) suivantes illustrent ce que pourraient être quelques prototypes avancés correspondant aux maquettes ci-dessus.

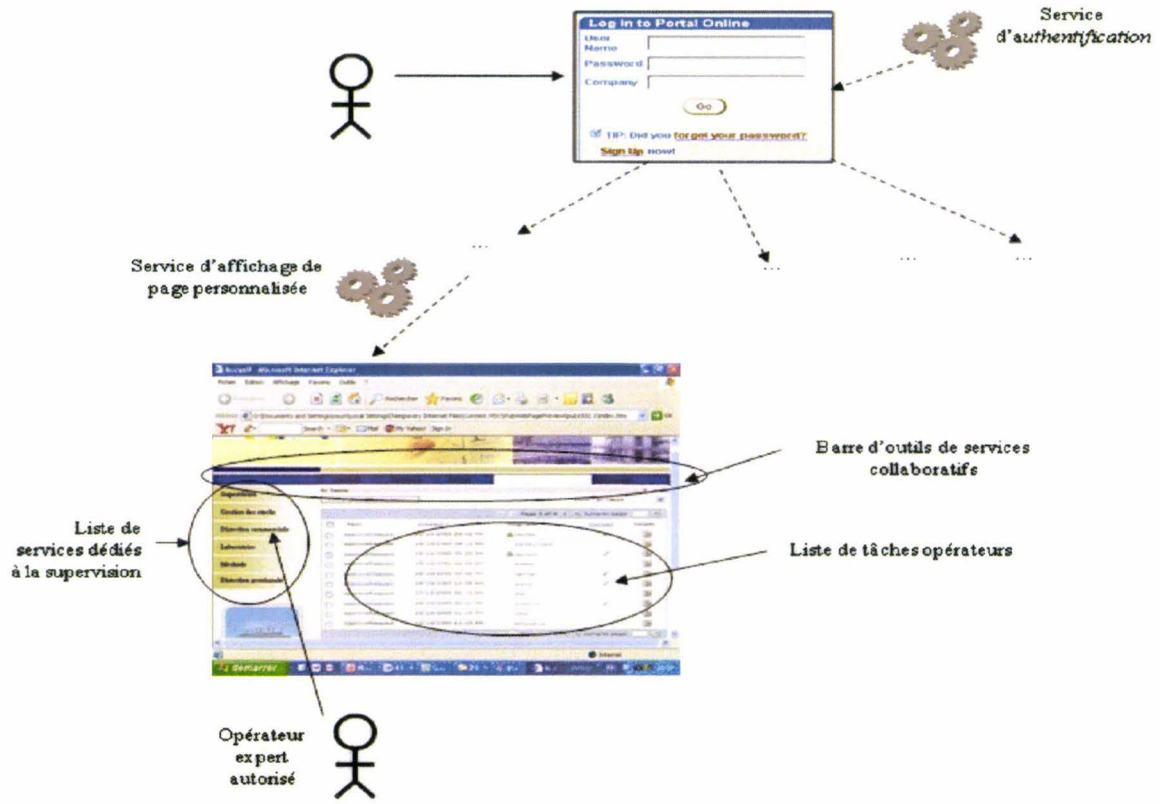

Figure 5.44. Prototype d'interface d'authentification et accès opérateur expert distant aux services dédiés supervision

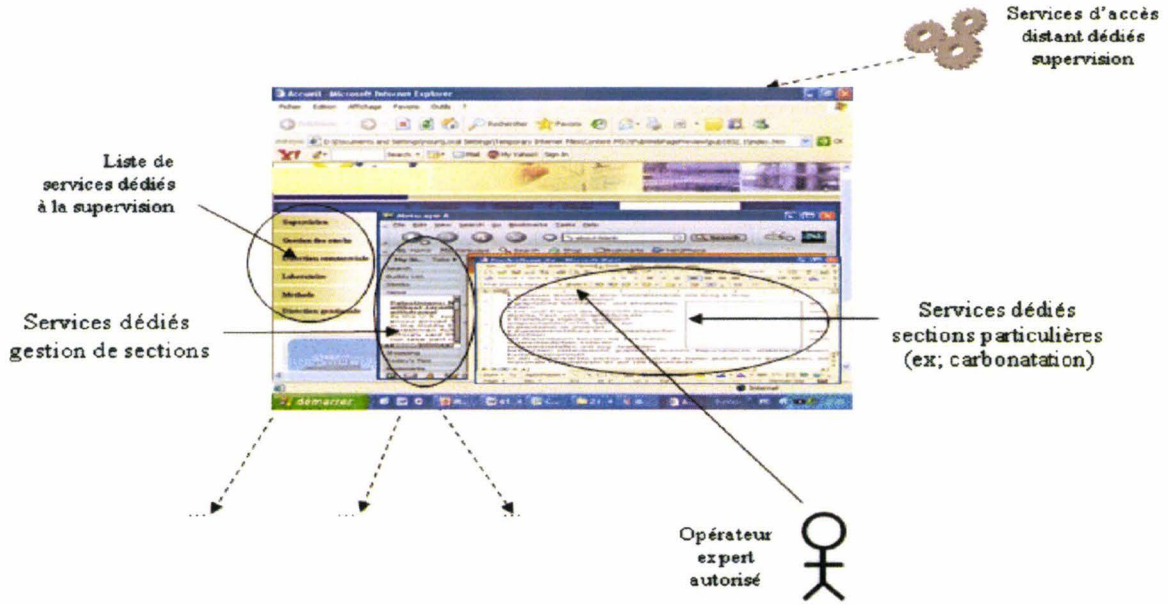

Figure 5.45. Prototype d'interface d'accès opérateur expert aux services dédiés section à superviser

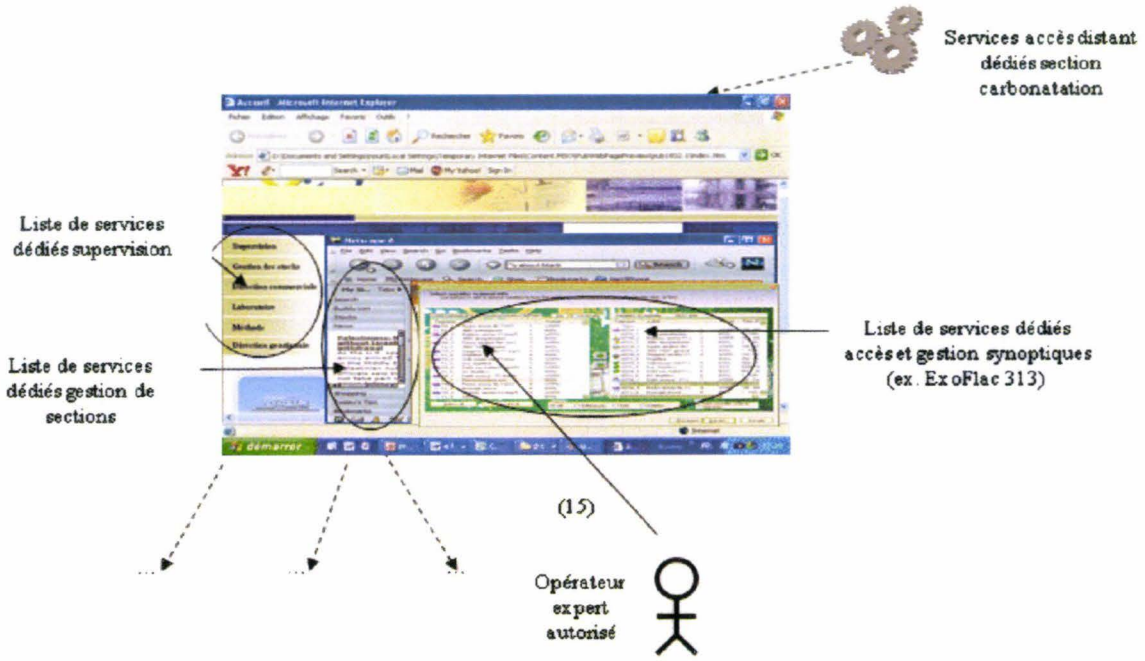

Figure 5.46. Prototype d'interface d'accès opérateur expert aux services dédiés synoptiques de la section carbonatation

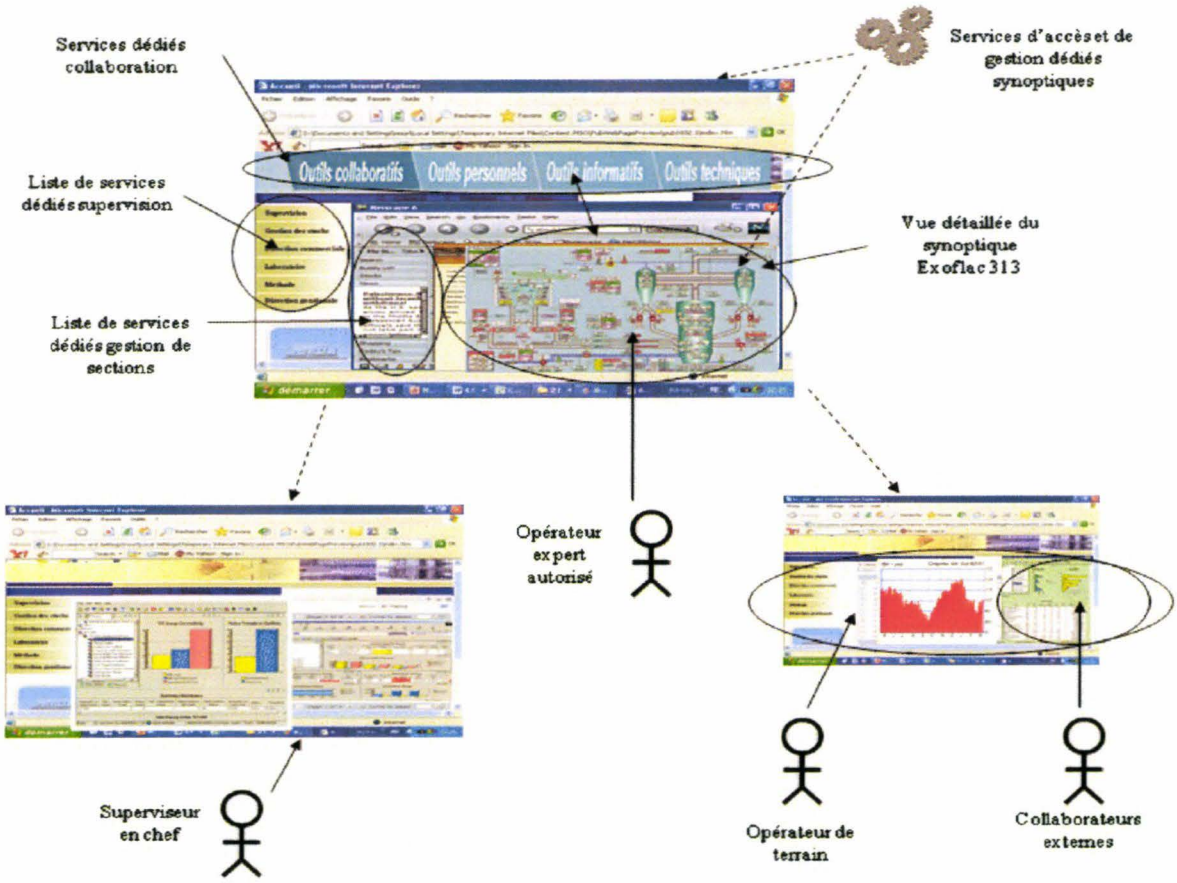

Figure 5.47. Prototype d'interface d'Accès opérateur au synoptique « Exoflac 313 » et collaboration avec certains opérateurs et compte-rendu au superviseur en chef

IV.4. Conclusion sur la phase 3

Dans cette phase, nous avons illustré la spécification et la conception d'IHM de supervision basée sur les services web à l'aide d'un scénario représentatif correspondant à un processus métier de supervision extrait de notre étude de cas. Nous avons conduit cette phase suivant trois étapes essentielles.

Dans l'étape 1, nous avons décrit et illustré à l'aide d'exemples et de modèles deux scénarios de supervision. Nous avons mis en avant les flux des différentes tâches (humaines ou automatiques) que nous avons exprimées à l'aide des activités de services web. Ensuite, à l'aide de quelques éléments fondamentaux et caractéristiques issus de la spécification décrite dans le chapitre 2 et conformément à ce qui a été proposé dans le chapitre 4, nous avons spécifié l'aspect interaction homme-machine relatif aux deux scénarios en question.

Dans l'étape 2, nous nous sommes intéressés à la spécification de l'interface utilisateur associée aux services web mis en œuvre dans le scénario de supervision considéré dans l'étape 2. Ceci consiste à décrire les objets d'interaction correspondant aux différents services web mis en œuvre dans le scénario de supervision choisi. Nous avons illustré sur un nombre restreint d'objets interactifs la façon avec laquelle on peut traiter l'aspect visuel des services web en question, soit quand on invoque le service soit quand on reçoit une réponse de celui-ci.

Enfin, dans l'étape 3, on procède au maquettage/prototypage de l'interface utilisateur de ces services web, en vue d'en donner une première idée (avant implémentation) et afin de faciliter des évaluations précoces. Cette étape représente une étape importante dans cette phase de spécification d'IHM de supervision avant de poursuivre avec l'étape de conception et l'implémentation (non abordées dans ce mémoire).

V. Conclusion

Cette étude de cas est relative à la supervision et au contrôle de procédés industriels à l'ère des nouvelles technologies de l'information et de la communication ; de nouvelles technologies, de nouveaux moyens de communication, impliquant du travail collaboratif et des activités complexes.

Nous avons adopté une méthodologie de conception de systèmes interactifs centrée sur l'utilisateur et orientée services. Nous étions amenés à procéder différentes analyses lors de différentes phase.

Les résultats de la phase d'analyse servent à l'étape suivante du processus de conception relative à la modélisation et maquettage.

Dans l'étude de cas réalisée, ce n'était pas possible aux opérateurs humains d'évaluer les interfaces homme-machine envisagées à partir de leurs spécifications du fait que ces dernières n'étaient pas évidentes à comprendre. Il fallait donc présenter un modèle d'interface qui soit le plus proche de la réalité, sous forme de maquettes, ceci afin de bien visualiser les interfaces, les

tester, les commenter, simuler leur utilisation et proposer des améliorations éventuelles tout en se rattachant aux scénarios de supervision choisis.

Des représentants des opérateurs en salle de contrôle et de terrain ont été impliqués dans le processus de conception et d'évaluation de notre solution d'IHM. Nous les avons impliqués plus ou moins à différents niveaux, selon leurs rôles en rapport avec le processus de conception et d'évaluation des interfaces. Tantôt, nous les avons impliqués à titre informatif, tantôt consultatif, et parfois participatif. En effet, nous informions certains opérateurs et membres du staff de notre objectif d'étude et surtout de la démarche que nous allions suivre. Parfois, nous consultions certains opérateurs experts métier dans nos différentes analyses. Enfin, certains opérateurs ont été directement impliqués dans le processus de conception en les faisant participer et impliquer.

Cependant, cette démarche étant qu'à ses début d'application nécessite d'autres utilisations et d'autres validations en vue de démontrer la faisabilité de la démarche d'une part et de son apport et intérêt aux concepteurs d'IHM de supervision d'autre part.

Par conséquent, la démarche nécessite et mérite d'être complétée et améliorée dans le cadre d'autres travaux de recherche, ce qui constitue des perspectives de recherche futures dont les principales sont exposées dans le chapitre suivant.

CHAPITRE VI : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

I. **CONCLUSION GÉNÉRALE**..... 174

II. **PERSPECTIVES DE RECHERCHE**..... 177

CHAPITRE VI : CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

I. Conclusion générale

Dans le chapitre 1, nous avons expliqué que les systèmes de supervision industriels qualifiés de traditionnels étaient exigeants en matière d'interfaces homme-machine et qu'il était possible d'étendre les missions de base de la supervision traditionnelle ; ceci est possible en allant vers une supervision plus globale grâce aux services de nouveaux périphériques et réseaux engendrant de nouveaux besoins donc de nouvelles fonctionnalités notamment celles relatives à la mobilité et tâches coopératives des opérateurs humains.

Nous partons donc d'un contexte local classique de supervision à un contexte plus large et complexe d'une part et des activités à l'intérieur des salles de contrôle vers des activités à l'extérieur de la salle de contrôle et au-delà d'autre part. On observe aussi une complexité croissante des systèmes industriels par leurs contraintes d'inter connectivité, d'interopérabilité et d'hétérogénéité et de leur distribution dans l'espace.

La problématique nouvelle suite à l'apport des TIC en entreprise permet de nouveaux challenges induisant ainsi de nouvelles motivations concernant l'aspect mobilité et des tâches coopératives dans l'interaction Homme-Machine de supervision.

De nouveaux scenarios complexes et représentatifs de nouvelles situations de supervision et en entreprise entrainent de nouvelles problématiques de conception. En effet, comme nous l'avons souligné, considérer l'IHM de supervision totalement ou presque dédiée à la supervision en salle de contrôle n'était souvent plus approprié au contexte d'une organisation complexe. Par conséquent, notre contribution vise à pallier cela et aller au-delà en investiguant et étudiant des aspects complémentaires de l'IHM classique de supervision.

Pour cela, nous avons confronté deux types d'approches de développement en vue de nouvelles démarches de conception d'IHM de supervision avancée (Chapitres 2 et 3).

Dans le chapitre 2, nous avons présenté les éléments et concepts clés de l'approche orientée service tout en mettant l'accent sur des aspects jugés intéressants pour l'interaction Homme-Machine et ayant servi de premières pistes en vue de la conception d'IHM de supervision.

Dans cette approche, contrairement aux développements traditionnels d'applications interactives, les processus métiers, présentations d'information et contenus (écrans), logiques applicatives et données sont séparées dans des couches distinctes et faiblement couplées.
Dans un développement d'applications orientées services, on ne se focalise qu'une seule fois sur l'IHM pour l'ensemble des applications interactives à concevoir. En revanche, dans les développements traditionnels (chapitre 3), on envisage le plus souvent différentes IHM si plusieurs applications sont prévues.

L'approche orientée services est une approche organisationnelle des applications informatiques basée sur l'*émergence d'une couche de services* offrant une vue logique des traitements et données existant déjà ou à développer. Chaque service encapsule ces traitements et données et masque ainsi l'hétérogénéité du système d'information global

Nous avons aussi souligné l'intérêt ou l'apport des technologies des services web en rapport direct avec l'environnement de l'entreprise devant réorganiser son processus métier et mettre sa logique métier accessible à partir d'Internet ou intranet à travers les services web.
Les motivations et concepts liées à l'orientation services et l'architecture orientée services combinées avec des technologies web orientées utilisateurs, notamment les services web, offrent une approche nouvelle permettant ainsi de considérer les aspects de mobilité et de coopération des acteurs humains dans les systèmes industriels complexes.
Selon le point de vue métier, les gains ou avantages d'une telle approche sont induits par les services de grosse granularité qui exposent la valeur métier d'un système à tout un ensemble d'acteurs métier. Ceci peut se traduire par la génération de valeur ajoutée au travers de la mise à disposition de fonctionnalités diverses à travers des services web d'une part, et d'autre part, l'intégration avec des partenaires externes est rendue possible par la capacité à exposer des services de haut niveaux.

Dans le chapitre 3, nous avons dressé un état de l'art sur les méthodes et modèles de développement de systèmes interactifs classiques puis enrichis. Nous avons mis en avant l'intérêt et les avantages d'un processus itératif et incrémental permettant de réduire la complexité de réalisation des phases de conception en procédant par approches successives et incrémentales où il est possible de présenter rapidement aux utilisateurs des éléments de validation permettant ainsi une évaluation précoce.

Après avoir considéré un certain nombre d'éléments relatifs au projet de conception d'IHM, nous avons mis en avant des limites vis-à-vis des interactions homme-machine des modèles classiques, ayant conduit aux modèles dits enrichis. Des limites et insuffisances ont aussi été soulevées dans ces modèles vis-à-vis du nouveau contexte technologique, organisationnel et économique en vue de spécifier des IHM de supervision dites avancées, pour enfin s'appuyer sur des modèles issus de la communauté *objet et nouvelles technologies*. Un certain nombre de modèles représentatifs ont été présentés en vue de mettre en avant d'autres éléments pertinents non positionnés dans les modèles précédents et pouvant aussi être envisagés dans une démarche nouvelle de conception.

Par ailleurs, nous avons souligné que le processus unifié en tant que méthode générique de développement de logiciels nécessite d'être adapté à chacun des projets pour lesquels elle sera employée comme dans le cas de notre contribution.

L'état de l'art sur les méthodes et modèles de développement de systèmes interactifs classiques puis enrichis d'une part, et les développements orientés services d'autre part a permis de mettre en évidence l'absence de démarches précises d'aide à la conception d'IHM de supervision évoluant dans un environnement technologique basé sur le web.

La contribution principale de notre travail de recherche consiste en une proposition d'une démarche centrée utilisateur permettant de guider le concepteur d'IHM de supervision dans l'élaboration de solutions orientées services (Chapitre 4).
Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes focalisés essentiellement sur les premières étapes d'un cycle de conception-évaluation des systèmes interactifs.
Nous avons proposé un cadre méthodologique global relatif à la conception de services orientés IHM de supervision qui définit les grandes phases visant à spécifier des IHM de supervision à l'aide de services web.

Cette démarche s'appuie principalement sur des méthodes et techniques issues du domaine du génie logiciel, de l'interaction homme-machine et des technologies du web tout en considérant la vue métier de la supervision. Visant à nous situer dans une démarche agile, une approche hybride utilisant le principe du processus unifié a été proposée, au lieu d'une approche purement descendante ou ascendante.

Dans la partie deux du chapitre 4, nous avons décrit globalement l'approche proposée en présentant ses trois phases principales (étude de l'organisation globale de supervision et analyse métier, analyse et expression des besoins et spécification et conception de l'IHM de supervision) ainsi que les articulations de leurs étapes. Ensuite, chacune des phases a été successivement détaillée.

Ce cadre général de développement s'inscrit dans un processus se basant sur les trois principes du processus générique unifié (démarche itérative, pilotée par les cas d'utilisation, et centrée sur l'architecture).

Enfin le chapitre 5 a traité de l'application et de la mise en œuvre de l'approche proposée sur une étude de cas relative à la supervision d'une raffinerie de sucre. L'étude de cas a été menée sur le terrain, suivant les trois phases globales de la démarche proposée.

Dans la phase 1, l'analyse métier conduite selon une vision orientée service a permis de dégager un premier ensemble de processus métier de supervision. Ceux-ci ont été décrits à l'aide de cas d'utilisation métier, eux-mêmes extraits à partir de scénarios métier. L'analyse des tâches a permis une décomposition du système homme-machine global de l'organisation étudiée selon différents sous systèmes ou processus distincts et plus simples à considérer. Enfin, l'analyse des utilisateurs a permis d'identifier les principaux acteurs métier impliqués dans les scénarios métier construits lors des analyses métier et des tâches.

Dans la phase 2, une seconde analyse des besoins des principaux acteurs métier impliqués dans l'organisation existante a été menée afin de capter d'autres besoins manquants, et d'identifier d'autres acteurs humains potentiellement concernés. Les besoins ont ensuite été exprimés en termes de services web vis-à-vis de la mobilité et des tâches coopératives des acteurs humains.

Enfin dans la phase 3, nous avons illustré la spécification et la conception d'IHM de supervision basée sur les services web à l'aide d'un scénario représentatif correspondant à un processus métier de supervision extrait de l'étude de cas.

Dans l'étude de cas réalisée, il n'était pas évident pour les opérateurs humains d'évaluer les interfaces homme-machine envisagées à partir de leurs spécifications à l'aide de services web du fait que ces dernières étaient abstraites. Il fallait donc plutôt présenter un modèle d'interface qui soit le plus proche de la réalité, sous forme de maquettes, ceci afin de bien visualiser les interfaces, les tester, les commenter, simuler leur utilisation et proposer des améliorations éventuelles tout en se rattachant aux scénarios.

Au début de l'étude de cas, des représentants des opérateurs en salle de contrôle et de terrain ont été impliqués dans le processus de conception de notre solution d'IHM. Nous les avons impliqués plus ou moins à différents niveaux, selon leurs rôles. Plus précisément, nous les avons impliqués à titre informatif, tantôt consultatif, et parfois participatif. En effet, nous informions certains opérateurs et membres du staff de notre objectif d'étude et surtout de la démarche que nous allions suivre. Parfois, nous consultions certains opérateurs experts métier dans nos différentes analyses. En revanche, nous n'avions pas pu procéder aux évaluations nécessaires faute d'indisponibilité des opérateurs. Par conséquent, nous envisageons de considérer cet aspect d'évaluation dans le cadre de nos perspectives de recherche.

II. Perspectives de recherche

Comme perspectives de recherche, nous visons les points suivants :

1. Validation de l'approche

L'étude de cas traitée dans ce mémoire a été relative à la supervision et au contrôle de procédés industriels à l'ère des nouvelles technologies de l'information et de la communication ; de nouveaux moyens de communication, impliquant du travail coopératif et des activités complexes et éventuellement critiques sont envisagées. Afin de valider davantage le cadre méthodologique sur un autre domaine industriel, nous envisageons d'appliquer cette démarche sur le domaine de la maintenance industrielle, et plus particulièrement la e-maintenance, pour lequel nous sommes en train de proposer une modélisation orientée services (dans le cadre d'une thèse de magistère pour l'instant) [Touloum *et al.*, 08].

2. L'évaluation dans les phases déjà proposées

Nous envisageons de traiter d'une façon particulière l'aspect de l'évaluation au niveau de chacune des grandes phases de la démarche, mis en évidence dans la figure 4.5 (cf. Chapitre 4, § II.3), que nous n'avons pas traité dans ce mémoire. Néanmoins, nous avons souligné l'intérêt ou le couplage existant entre conception et évaluation sous l'angle ergonomique. Dans le cadre de la démarche proposée, l'évaluation peut concerner les trois niveaux ou phases. Cependant, elle diffère selon que l'on vise la phase 1, 2 ou 3.

Au niveau de la phase 1, l'évaluation peut porter globalement sur les scénarios métier ayant servi de base à l'analyse métier et à l'analyse des tâches. Celle-ci consistera à ne considérer et traiter que les scénarios ayant réellement de la valeur métier afin de mieux préciser les objectifs des tâches représentatives et prioritaires de la future IHM visée. Le 2ème niveau d'évaluation concerne la phase d'analyse et de l'expression des besoins. Ces besoins exprimés en termes de services traduisant les besoins métier de la supervision doivent être évalués relativement à leur granularité et leur composition.

Enfin, le 3ème niveau d'évaluation concerne plus particulièrement l'étape de maquettage et prototypage des interfaces utilisateur spécifiées à l'aide de services web. Ceci concerne l'évaluation sur le plan de l'utilité et de l'utilisabilité en concordance avec les recommandations ergonomiques et démarches disponibles dans la littérature. Cependant, la spécificité des IHM à base de services web nécessitera peut-être la mise au point ou l'adaptation de ces critères ou démarches.

3. Aller au-delà des trois phases

Par ailleurs, nous envisageons d'aller au-delà du maquettage vers la conception, l'implémentation et les tests de l'IHM de supervision, qui n'ont pas été traitée dans ce mémoire, et ceci en vue de proposer une démarche complète couvrant l'ensemble des phases. Au delà des aspects techniques, la mise en place d'une démarche orientée services reste un challenge au niveau humain. En effet, les directions informatiques doivent apprendre à collaborer étroitement avec les directions métier afin de définir la taille (granularité) des composants ou services web à développer ou à réutiliser et leur degré de spécification, d'où l'intérêt d'utiliser des méthodes agiles dans de futurs développement d'IHM. L'approche devrait permettre à terme de mettre en œuvre véritablement l'agilité et l'interopérabilité dans le développement d'IHM de supervision avancée.

4. Aspects importants relatifs à la supervision industrielle basée sur le web

La supervision utilisant les technologies du Web et d'Internet ouvre beaucoup de perspectives en termes de communication et de partage d'informations au sein d'une entreprise et au plus près des équipements permettent ainsi un transfert vertical d'informations de l'installation (terrain) qui représente le niveau le plus bas de la hiérarchie vers le niveau le plus haut qu'est celui du management. Il permet de passer d'une supervision classique où les opérateurs sont en salle de contrôle, à une supervision où des acteurs hors salle de contrôle ont la possibilité d'utiliser à distance des fonctionnalités de supervision. Par conséquent, de nombreuses questions de recherche vis-à-vis de l'incidence de cette nouvelle approche de supervision se posent potentiellement. Il est possible d'en recenser sans souci d'exhaustivité, mais surtout de représentativité [Idoughi et Kolski., 06b].

D'abord, il s'agit d'analyser et de comprendre les incidences, intérêts et limites de passer d'une supervision classique où les opérateurs sont en salle de contrôle, à une supervision où des acteurs hors salle de contrôle ont la possibilité d'utiliser à distance des fonctionnalités de supervision par l'intermédiaire des services web. Il est important de bien analyser les responsabilités et tâches possibles qu'il est possible d'attribuer à ces acteurs, qu'ils soient acteurs directs de la supervision ou non.

Des fonctionnalités de e-maintenance (s'inscrivant dans la supervision globale) peuvent être envisagées sur des machines ou composants d'installations industrielles ; ainsi les opérateurs en salle de contrôle peuvent être prévenus automatiquement (éventuellement sur leur téléphone portable), de manière à ce qu'ils intègrent ces interventions se voulant les plus transparentes possibles, dans leur processus de raisonnement. Cf. à ce sujet la section 1 *Validation de l'approche.*

Il est important aussi de souligner qu'à partir du moment où des utilisateurs peuvent être nomades et qu'il est important de procéder à des évaluations en terme d'utilité et d'utilisabilité de dispositifs interactifs d'aide aux activités, on se situe dans un challenge difficile et encore peu traité aussi bien au niveau national qu'international, relatif à la nécessité de méthodes d'évaluation adaptées.

De manière générale, il serait important d'analyser les nouvelles articulations à trouver concernant les différentes activités de l'entreprise, au travers de ces services à distance. C'est-à-dire qu'il est nécessaire de pouvoir rendre accessible tout un ensemble de fonctionnalités métier relevant de différentes activités ou de systèmes de l'entreprise, que ce soit en interne ou en externe, et ceci d'une manière transparente et aisée. En revanche, ceci n'est pas sans contraintes et risques : des aspects liés à la sécurité, la confidentialité, etc., doivent être soulevés nécessitant ainsi leur prise en charge dès le début de la conception.

Comme nous l'avons mis en évidence dans l'étude de cas, l'apport de ces nouvelles technologies peuvent aussi être analysées dans un contexte de changement (relève) de poste/d'équipe, phase critique du travail en équipes successives. Les services web peuvent en effet être mis à la disposition des opérateurs humains afin qu'ils prennent en compte l'existence d'éventuels problèmes, avant d'arriver sur leur poste de travail. Cet aspect mériterait des études à part entière.

Il est très important que les interfaces Homme-Machine utilisées par des utilisateurs nomades ou non en lien avec la supervision (par exemple, un rondier réalisant une action sur le processus industriel à la demande des opérateurs de la salle de contrôle, tout en s'appuyant sur des informations sur certaines machines, disponibles par l'intermédiaire d'un PDA ou un Pocket PC) soient les plus ergonomiques possibles. Il faut à ce sujet préciser que peu de recherches ont été menées relativement à l'adaptation automatique des IHM dans un contexte de supervision. C'est un domaine à défricher.

Ces nouvelles technologies très attrayantes pour les ingénieurs sont d'ores et déjà disponibles et même de plus en plus utilisées. Encore faut-il maintenant qu'elles soient connues par les équipes de conception (constituées si possible de spécialistes de l'ingénierie et de spécialistes de l'ergonomie), que leurs avantages et inconvénients soient bien cernés, et que de nouvelles méthodes de conception et d'évaluation adaptées soient progressivement proposées et mises au point. Nous espérons avoir apporté un premier ensemble d'éléments de réflexion à ce sujet, par l'intermédiaire de ce mémoire. Mais il est clair qu'il reste encore de nombreuses études à mener pour aller vers des méthodes complètes, systématiques et validées.

Enfin, il serait intéressant d'investiguer profondément le domaine de la supervision afin de dégager et mettre en évidence tous les éléments pouvant caractériser un contexte de supervision, conduisant par la suite à un modèle de contexte d'IHM de supervision. En d'autres termes, comment la notion de sensibilité au contexte peut être définie dans ce domaine et comment elle peut être implémentée. L'acquisition et le traitement du contexte dans une infrastructure de supervision par des services pouvant être accédés par tout dispositif mobile ou application est aussi une autre piste de recherche.

A cet effet, nous envisageons d'approcher le problème en exploitant la notion d'ontologie[32] dans le cadre d'un mémoire de magistère (en cours de réalisation [Guettiche *et al.*, 08]). Dans le cadre du web, les ontologies peuvent constituer un moyen de résolution de problèmes liés à l'interrogation et l'acquisition de données hétérogènes relatives à la supervision de procédés industriels complexes. En d'autres termes, ceci contribuera à spécifier explicitement des concepts relatifs au domaine de la supervision industrielle. Ainsi, il s'agirait d'aller vers une approche proposant une démarche permettant de construire une ontologie du domaine de la supervision industrielle. Pour représenter l'ontologie, il serait possible de choisir parmi plusieurs formalismes existants permettant de représenter les connaissances du domaine, qui sont assez souvent détenues par des experts métiers et des acteurs humains expérimentés (comme nous l'avons observé lors de l'étude de cas où il était peu évident de comprendre et de choisir les bons termes et les bonnes affinités fonctionnelles des besoins exprimés). Il nous semble que cette connaissance permettrait de faire le lien avec une catégorisation de services web métier.

En conclusion, ce domaine vaste, complexe et riche, et qui pour certains aspects reste encore à défricher, laisse envisager de nombreuses recherches en perspectives, pour certaines nécessairement pluridisciplinaires.

[32] Une ontologie est une représentation formelle des connaissances partagées au sein d'une organisation sur un domaine particulier [Guarino , 98].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[Abed *et al.*, 91] Abed M., Bernard J.M., Angue J.C. Task analysis and modelization by using SADT and PETRI network. *Proceedings Tenth European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control*, Liège, Belgium, 11-13 November, 1991.

[Abed et Ezzedine, 98] Abed, M. Ezzedine, H. Vers une démarche intégrée de conception-évaluation des systèmes Homme-Machine. *Journal of Decision Systems*, Vol. 7, pp. 147-175, 1998.

[Abed, 01] Abed M. *Méthodes et modèles formels et semi-formels pour la conception et l'évaluation des systèmes homme-machine.* Habilitation à diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Mai 2001.

[Abed *et al.*, 01] Abed M., Bernard J. M., Angue J. C. Task analysis and modelization by using SADT and Petri networks. *Tenth European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control*, Liège, Belgium, 11-13 November, 1991.

[Abrial, 96] Abrial, J. R. (1996). *The B Book : Assigning Programs to Meanings*. Cambridge University Press.

[Adam, 00] Adam E. *Modèle d'organisation multi-agent pour l'aide au travail coopératif dans les processus d'entreprise : application aux systèmes administratifs complexes.* Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2000.

[Agarwal et Wang, 03] Agarwal A., Wang K. B. Supporting Quality of Service in IP multicast network, *Computer Communication*, vol. 26, 2003, pp. 1533-1540.

[Alty et Bergan 92] Alty J. L., Bergan M. The design of multimedia interfaces in process control. In H. G. Stassen (Ed.), *Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems* (Preprints, The Hague), Pergamon press, Oxford, 1992.

[Alty, 95] Alty J. L. Multi-media interfaces in process control – a methodological approach. *Proceeding IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Le Touquet, France, volume 1, pp. 361-366, October 17-20, 1995.

[Annett et Duncan, 67] Annett J.F., Duncan K.D. Task analysis and training design. *Occupational Psychology*, 41, pp. 211-221, 1967.

[Arbanowski, *et al.*, 00] Arbanowski, S; van der Meer, S; Steglich, St; Popescu-Zeletin, R: The Human Communication Space Towards I-centric Communications. Workshop: The What, Who, Where, When, Why and How of Context-Awareness, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI2000, The Hague, The Netherlands, April 1-6, 2000.

[Arsanjani *et al.*, 02] Arsanjani, D. Chamberlain, et al. *(WSXL) Web service experience language version, 2002.* http://www.106.ibm.com/developerworks/library/ws-wsxl2/

[Arsanjani, 04] Arsanjani, D. *Service Oriented Modeling and Architecture – SOMA*, IBM developerWorks, 2004, disponible à: http://www.106.ibm.com/developerworks/library/ws-wsxl2/

[Aubry, 92] Aubry, J.F. La supervision : nécessité, offre, guide de choix. *Acte de la journée 'La supervision'*, centre des technologies nouvelles, Caen, 19 Mars 1992.

[Avignon *et al.*, 02] Avignon L., Laborderie G., Mathieu-Daudé R., Pezziardi P. *Architectures de Systèmes d'Information, Livre Blanc*, 2002, disponible à www.octo.com.

[Barthet et Sibertin-Blanc, 86] Barthet M. F., Sibertin-Blanc C. La modélisation d'applications interactive adaptées aux utilisateurs par des réseaux de Petri à structures de données. *Actes de séminaire « Ergonomie des logiciels »*, Bull, PM T.E.T. pp. 172-190, 1986.

[Barthet, 88] Barthet M.F. *Logiciels interactifs et ergonomie. Modèle et méthodes de conception.* Dunod informatique, Paris, 1988.

[Barthet, 95] Barthet M. F. The DIANE method and its connection with MERISE method. *Proceeding IEA World conference "Ergonomic design, interfaces, products, Information"*, October 16-20, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 106-110, 1995.

[Bastien et Scapin, 93] Bastien, C., Scapin, D. (1993) Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer interfaces. Institut National de recherche en informatique et en automatique, France (http://www.inria.fr)

[Bastien et Scapin, 01] Bastien C., Scapin D. Évaluation des systèmes d'information et Critères Ergonomiques. In Kolski C. (Ed.), *Environnements évolués et évaluation de l'IHM, Interaction homme-machine pour les SI 2*, Hermès, Paris, pp. 53-80, 2001.

[Bazydlo *et al.*, 03] Bazydlo, P., Bernadac, J.C., Karaoui, M., Landeau , S., Le Roux, B., Rouxel, C., Vila, J.L., Wagener, G. Les services Web, un nouvel atout pour l'entreprise étendue; les technologies mise en œuvre. Publication Cosmosbay~Vectis, Janvier 2003. Accessible à : http://cosmobay.com

[Beck, 00] Beck K. *Extreme Programming Explained:*. Addison-Wesley Publishing Company: 2000.

[Beck *et al* , 01] Beck K. et al., *Manifesto for Agile Software Development*, Feb. 2001; www.agilemanifesto.org.

[Beck, 03] Beck K., *Extreme Programming*,: Addison Wesley Verlag (Eds), décembre 2003

[Bénard, 01] Benard J. L., Extreme programming – méthodes agiles : l'état des lieux, Business interactif 2001, disponible à www.businessinteractif.fr

[Bonnet, 03]. Bonnet P. *Cadre de Référence Web services, Meilleures Pratiques*, 2003, accessible à www.orchestranetworks.com

[Booch *et al.*, 98] Booch Grady, Rumbaugh James, Jacobson Ivar: *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley, 1998.

[Boehm, 81] Boehm, BW. *Software Engineering Economics*. Prentice Hall: Englewoods Cliffs N.J, 1981.

[Boehm *et al.*, 84] Boehm BW, Gray TE, Seewaldt T. Prototyping versus specifying: a multiproject experiment. *IEEE transactions on Software Engineering*, (10) 3, Mai 1984, pp. 290-302.

[Boehm, 88] Boehm B. W. A spiral model for software development and enhancement. *Computer*, May, 1988.

[Boy, 89] Boy G., The Block representation in knowledge acquisition for computer integrated documentation. *Proceeding 4th AIAA-Sponsored knowledge acquisition integrated documentation for knowledge-based systems workshop*, Banff, Canada, October, 1-6, 1989.

[Brown *et al.*, 97] Brown P.J., Bovey P.D., Chen X. Context-Aware Applications: From the Laboratory to the Marketplace. *IEEE Personal Communications*, 4(5), 1997, pp. 58-64.

[Calvary *et al.*, 01] Calvary, G., Coutaz, J., Thévenin, D. Supporting context changes for plastic user interfaces: a process and a mechanism. In A. Blanford, J. Vanderdonckt et P. Gray (réd.), Proc. of HCI-IHM 2001, Springer-Verlag, Londres, pp. 349-363, 2001.

[Calvary *et al.*, 03] Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., Vanderdonckt, J. (2003). *A Unifying Reference Framework for Multi-Target User Interfaces.* Interacting with Computers, vol. 15, N° 3, pp. 289-308.

[Calvary *et al.*, 04] Calvary G., Demeure A., Coutaz J., Daassi O., "Adaptation des interfaces Homme-Machine à leur contexte d'usage – plasticité des IHM", Revue d'intelligence artificielle, volume 18, N° 4, 2004, pp. 557-606.

[Card *et al.*, 83] Card S. K., Moran T. P., Newell A. *The psychology of human-computer interaction.* Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983.

[Carroll, 00]. Carroll J.M. (2000). Making use: scenario based design of human-computer interactions. MIT Press

[Caulier, 97] Caulier P. *Méthodologie de capitalisation et de réutilisation de connaissances pour l'aide à la supervision des procédés automatisés complexes.* Thèse de doctorat, université de valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France. 1997.

[Chauvet, 02] Chauvet J.M. *Services Web avec SOAP, WSDL, UDDI, ebXML.* Edition Eyrolles, Paris, 2002.

[Cockburn, 02] Cockburn A. *Agile Software Development,* Addison-Wesley, 2002.

[Cohn, 02] Cohn M., "The Scrum Development Process"; disponible à www.mountaingoatsoftware.com/scrum

[Contini, 02] Contini I. L'apport historique de l'urbanisme des villes pour l'urbanisme des systèmes d'information. *Colloque Urbanisation des Systèmes d'Information*, 24 Juin 2002, IAE Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

[Coutaz *et al.*, 95] Coutaz J., Nigay L., Salber D., Blandford A., May J., Young R., Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The CARE Properties, INTERACT'95 Proceedings, 1995, pp. 115-120.

[Coronado et Casey, 04] Coronado J., Casey B. A Multicultural Approach to Task Analysis: Capturing User Requirements for a Global Software Application. In Diaper D., Stanton N., *The handbook of task analysis for human-computer interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 179-192, 2004.

[Curtis et Hefley, 94] Curtis B., Hefley B. a WIMP no more, the maturing of user interface engineering. *Interactions,* pp. 22-34. 1994.

[Davies *et al.*, 99] Davies N., Cheverst K., Mitchell K., and Friday A., Caches in the Air: Disseminating Information in the Guide System. Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), New Orleans, Louisiana, USA, February 1999

[David *et al.*, 06] David, B., Masserey, G., Champalle, O., Chalon, R., Delotte, O., "A wearable computer based maintenance, diagnosis and repairing activities in Computer Augmented Environment", Conférence européenne annuelle sur "Human Decision-Making and Manual Control"(EAM 06)Valenciennes FRANCE, 2006

[De Gamma, 03] De Gamma white paper, "Enabling service-oriented Architecture", mai 2003. Accessible à : http://www.2gamma.com/fr/doc/de_gamma_soa_en.pdf

[Delotte, 06] Delotte O. *CoCSys : une approche basée sur la construction d'un modèle comportemental pour la conception de systèmes collaboratifs mobiles.* Thèse de doctorat, École Centrale de Lyon, décembre 2006.

[De Keyser *et al.* 87] De Keyser V., Decortis F., Housiaux A., Van Daele A. *Les communications Homme-Machine dans les systèmes complexes*. Rapport politique scientifique FAST N° 8, Université de Liège, 1987.

[Dessaigne 89] Dessaigne M. F., Video projection dans une salle de contrôle pour le suivi de trafic. *Actes du XXVème congrès de la SELF « Evaluations technologiques et Ergonomie »*, Lyon, 4-6 Octobre 1989.

[Dey *et al.*, 97] Dey, A., Abowd, G., Pinkerton, M., Wood, A., "CyberDesk: A Framework for Providing Self-Integrating Ubiquitous Software Services", Proc. ACM UIST '97, pp. 75-76, (1997).

[Diaper et Stanton, 04] Diaper D., Stanton, N. *The handbook of task analysis for human-computer interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, 2004.

[Dragos et Collier, 02] Dragos R., Collier M., An MPLS based architecture for differentiated Web service, *International Conference on Software Telecommunications and Computer Networks (IEEE - SoftCom2002)*, Split, Croatie, octobre 2002.

[Drouin *et al.*, 01] Drouin A., Valentin A., Vanderdonckt J. Les apports de l'ergonomie à l'analyse et à la conception de S.I. In Kolski C. (Ed.), Analyse et conception de l'IHM, Interaction Homme-Machine pour les SI, Hermès, Paris, pp. 51-83, 2001

[Dumas et Fauvet, 06] Dumas Marlon, Fauvet Marie-Christine, Services Web, 5ème école d'été ICAR'06

[Fadier, 90] Fadier E. Fiabilité humaine : méthodes d'analyse et domaines d'application. In J. Leplat et G. De Terssac (Eds.), *Les Facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, Edition Octares, Marseille, 1990.

[Fithian *et al.*, 03] Fithian, R., Iachello, G., Moghazy, J., Pousman, Z. and Stasko, J. The Design and evaluation of a Mobile Location- Aware Handheld Event Planner (2003)

[Fioretti et Carbone, 07] Fioretti G., Carbone G., Integrate business modeling and interaction design, disponible à http://www.ibm.com/developerworks/library/ws-soa-busmodeling/index.html

[Fournier-Morel *el al.*, 06] Fournier-Morel F., Grojean P., Plouin G., Rognon C. *SOA : le guide de l'architecture*. Edition Dunod, Paris, 2006.

[Gabay, 01] Gabay J. *Merise et UML pour la modélisation des systèmes d'information*. Dunod: Paris, 2001.

[Gaillerdreau, 96] Gaillerdreau C. Spécification et choix de l'équipement d'un système automatisé. *Techniques de l'Ingénieur, Traité Mesures*, volume R.8, pp. 705. France, 1996.

[Gomes, 03] Gomes, T. Les terminaux mobiles vont-ils révolutionner les interfaces homme-machine ? *Mesures*, 758, pp. 44-47, 2003.

[Gould et Lewis, 85] Gould J. D., Lewis C. H. Designing for usability – key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, 1985, 28, pp. 300-311.

[Gray *et al.*, 92] Gray W. D., John B. E., Atwood M. E. The précis of project Ernestine or an overview of validation of GOMS. *Proceedings CHI'92 ACM Conference on Human factors in computing systems*, Bauersfeld et al. (Ed.) Monterey, California, pp. 307-312, May 3-7, 1992.

[Grudin, 02] Grudin J. Utility and usability: research issues and development contexts. *Interacting With Computers*, 4 (2), 209-217, 2002.

[Guarino , 98] Guarino N. (ed.), Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), June 6-8, Trento, Italy. Edited by N. Guarino (National Research Council, LADSEB-CNR, Padova, Italy), IOS Press, April 1998, 337 p.

[Guettiche *et al.*, 08] Guettiche M., Kerkar M., Idoughi D. Le contexte d'usage en supervision industrielle. Mémoire de magistère en informatique, école doctorale, Université A. Mira de Béjaia, 2008.

[Hariri *et al*, 05] Hariri M-A., Tabary D., Kolski C. (2005). Plastic HCI generation from its abstract model. M.h. Hamza (Ed.), Proceedings IASTED-HCI International Conference on Human-Computer Interaction (November 14-16, 2005, Phoenix, USA), ACTA Press, Anaheim, USA, pp. 246-251, novembre.

[Hariri *et al*, 07] Hariri M-A., Petersen J., Idoughi D., Kolski C., Tabary D. Plastic presentation of control data in Context-Aware environment. *Proceeding of the 26th Edition of EAM'07, European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual* Control, Lyngby, Danemark, 21-22 June.

[Hao *et al.*, 05] Hao Q., Shen W., Wang L., Towards a cooperative distributed manufacturing management framework, Computers in Industry, Volume 56, Issue 1, January 2005, pp. 71-84.

[Hartson et Gray, 92] Hartson, H.R., Gray, P.D. Temporal aspects of tasks in the User Action Notation. *Human-Computer Interaction*, vol. 7, pp. 1-45, 1992.

[Hackos et Redish, 98] Hackos Joann T., Redish Janice C., *User and Task Analysis for Interface Design, Verlag John Wiley & Sons, Inc; Auflage: 0003 (Februar 1998)*

[Hix et Hartson., 93] Hix, D., Hartson, H. R. *Developing user interface: Ensuring usability through Product process*. John Wiley Sons, New York, 1993.

[Hoc et Almaberti, 95] Hoc J.M., Amalberti R. Diagnosis: some theoretical questions raised by applied research. *Current Psychology of Cognition*, 14 (1), pp. 73-101, 1995.

[Høegh et Skov, 04] Høegh, R. T., Skov, M. B. Exploring Context-Awareness as Mean for Supporting Mobile Work in a hospital Ward, CD-Proceedings of the 7th International Conference on Work with Computing Systems (WWCS 2004), June 29 - July 2, Kuala Lumpur, Malaysia.

[Hugues *et al.* 96] Hugues B., Leblanc B., Morley C. *RAD : une méthode pour développer plus vite.* InterEditions: Paris, 1996.

[Hung *et al.*, 03] Hung M.H., Chen, K.Y., Ho, R.W., Cheng, F.T. Development of an e-diagnostics/maintenance framework for semiconductor factories with security considerations. *Advanced Engineering Informatics*, 17, pp. 165-178, 2003.

[Idoughi *et al.*, 06] Idoughi D., Nouri S., Foudad K. *Étude et conception d'une interface homme machine de supervision basée sur le web : cas de la raffinerie de sucre, cevital, béjaia, algérie.* Rapport de mémoire d'ingénieur en informatique, septembre 2006.

[Idoughi et Kolski, 06a] Idoughi D., Kolski C. Towards new Web Services based Supervisory Systems dedicated to Nomadic Operators. In *Proceedings of the 25th Edition of EAM'06, European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control (September 27-29, 2006, Valenciennes, France)*, Presses Universitaires de Valenciennes, ISBN 2-095725-87-7.

[Idoughi et Kolski., 06b] Idoughi D., Kolski C. Approches orientées services web de l'IHM de supervision : nouvelles solutions technologiques pour les ingénieurs et nouvelles problématiques pour les ergonomes ?. *ErgoIA 2006, "L'humain comme facteur de performance des*

systèmes complexes" (Biarritz, France, 11-13 Octobre 2006), ESTIA & ESTIA.Innovation, Biarritz, pp. 111-118, octobre, ISBN 2-9514772-6-0.

[Idoughi et Kolski, 07] Idoughi D., Kolski C. Towards web services oriented unified supervisory HCI. J. Jacko (Ed.), Human-*Computer Interaction, Part IV, HCII 2007*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 4553, Springer-Verlag, pp. 916-925, juillet.

[ISO 1988] ISO. LOTOS, A Formal Description Technique Based on the Temporal Ordering of Observational Behaviour. International Standard 8807, International Organization for Standardization | Information Processing Systems Open Systems Interconnection, Genève, septembre 1988.

[Jackson, 83] Jackson M. *System Développement*. Prentice Hall, 1983.

[Jacobson *et al.*, 98] Jacobson Ivar Booch Grady, , Rumbaugh James, Rumbaugh Jim, The Unified Modeling Language User Guide, Addison-Wesley 1998.

[Jacko et Sears, 03] .Jacko J.A., Sears A. (Eds.) *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. Lawrence Erlbaum & Associates, 2003.

[James, 91] James M. G. PRODUSER : PROcess for Developing USER Interfaces. In *Taking Software Design Seriously*, J. Karat (Ed.), Academic Press, 1991.

[Jackowski, 02] Jackowski Zygmunt, *Introducing Extreme System Analysis*, acceesible à http://www.ibm.com/developerworks

[Jaulent, 90] Jaulent P. *Génie logiciel, les méthodes*. Armand Colin, Paris, 1990.

[Jaulent, 94] Jaulent P. *Génie Logiciel, les méthodes (seconde édition)*. A. Colin: Paris, 1994.

[Johannsen, 95] Johannsen G. Conceptual design of multi-human machine interfaces. *Proceedings 6th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems*, MIT, Cambridge USA, June 27-29, October 1995.

[Kadima et Montfort, 03] Kadima, H., Monfort V. Les services Web : techniques, démarches et outils, XML, WSDL, SOAP, UDDI, Rosetta, UML. Edition Dunod, Paris, 2003.

[Keller *et al.*, 03] Keller W., Tarlano A., Context Aware Wireless Ubiquitous Computing, in Proc. 10th WWRF, New York, NY, USA, October 27-28, 2003.

[Keidl et Kemper, 04] Keidl M, Kemper A (2004) Towards context-aware adaptable web services. Proceedings of the 13th world wide web conference, NY, USA, May

[Kieras, 88] Kieras D. E. Towards a practical GOMS model methodolgy for user interface design. In *the Handbook of Human-Computer Interaction*, M. Helander (Ed.), Amsterdam: North Holland, 1988.

[Kirwan et Ainsworth, 92] Kirwan, B., Ainsworth, L.K. (1992), *A Guide to Task Analysis*, Bristol, PA: Taylor & Francis Inc.

[Kindberg et Bartonn., 99] Kindberg T., Bartonn J. "A Web-based Nomadic Computing System", Computer Networks, Amsterdam, Netherlands: 1999, 35(4), pp. 443-456.

[Kolski et Millot, 93] Kolski C., Millot P. Problems in telemaintenance and decision aid criteria for telemaintenance system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11, pp. 99-106, 1993.

[Kolski, 95] Kolski C. *Méthodes et modèles de conception et d'évaluation des interfaces home-machine.* Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes, Janvier 1995.

[Kolski, 97] Kolski C. *Interfaces homme-machine, applica*tion aux systèmes industriels *complexes* (2ème édition). Editions Hermes, Paris, 1997.

[Kolski, 01] Kolski C. (Ed.). *Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les SI (tome 1)* ; *Environnements évolués et évaluation de l'IHM, Interaction homme-machine pour les SI (tome 2).* Editions Hermes, Paris, 2001.

[Kortuem *et al.*, 99] Kortuem G., Bauer M. and Segall Z., NETMAN: the design of a collaborative wearable computer system, Mobile Networks and Applications (MONET) 4(1), March 1999, pp. 49-58.

[Krebs, 05] Krebs J. *RUP in the dialogue with Scrum.* disponible à : http://www-106.ibm.com/developerworks/rational/library/feb05/krebs/index.html, février, 2005.

[Lambert, 99] Lambert M. *Conception centrée sur l'homme d'un système de supervision avancé.* Thèse de doctorat. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 1999.

[Laprie *et al.*, 95] Laprie, J.C. et collègues. *Guide de la sûreté de fonctionnement.* Cépaduès Editions, Toulouse, 1995.

[Legardeux, 06] Legardeux L. SOA pas à pas, une expérience réelle. Accessible à :www.xebia.fr, 2006.

[Lejon, 91] Lejon, J.C. *L'évolution de la conduite sur SNCC. L'ergonomie des systèmes numériques de contrôle commande.* Paris, Editions ANACT, 1991.

[Le Moigne, 77] Le Moigne J.L. *La théorie du système général - théorie de la modélisation.* Presses Universitaires de France, 1977.

[Le Parc *et al.*, 04] Le Parc P., Vareille J., Marcé L. E-productique ou contrôle et supervision distante de systèmes mécaniques sur Internet. *RS- JESA*, Volume 38, N° 5/2004 P 525-558.

[Lepreux *et al.*, 03] Lepreux, S., Abed, M., Kolski, C. A human-centred methodology applied to decision support system design and evaluation in a railway network context. *Cognition Technology and Work*, 5, pp. 248-271, 2003.

[Leymann, 01] Leymann, F. *Web Services Flow Language (WSFL1.0).* 2001, http://www-306.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSFL.pdf

[Lionel, 05] Lionel Trcon, Initiation au couple gagnant WSDL/SOAP, disponible à http://lionel.tricon.free.fr/Articles/wsdl/article_wsdl.pdf

[Lind, 81] Lind M. The use of flow models for automated plant diagnosis. In J. Rasmussen & W. Rouse (Eds.), Human Detection and Diagnosis of System Failures, pp. 411-432. New York: Plenum.

[Lim *et al.*, 92] Lim K. Y., Long J. B., Silcock N. Instanciation of task analysis in a structured method for user interface design. *Proceedings 11th Interdisciplinary Workshop on Informatics and Psychology: Task analysis in Human-Computer Interaction*, Scarding, June, 9-11, 1992.

[Lim et Long, 94] Lim K.Y., Long J.B. *The MUSE method for usability engineering.* Cambridge series on Human-Computer Interaction, Cambridge University Press, 1994.

[Long et al., 96] Long S., Kooper R., Abowd G.D. and Atkeson C.G., Rapid prototyping of mobile context-aware applications: the Cyberguide case study, Proc. of 2nd Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking, MOBICOM'96, Rye, NY, USA, Nov. 1996, pp. 97-107

[Longworth et Nicholls, 86] Longworth G., Nicholls D. *SSADM Manuel, volume 1: tasks and terms, volume 2: technique and documentation.* NCC, The national center fo information technology, vers. 3, 1986.

[Lopez-velasco et al., 05] Lopez-Velasco C, Villanova-Oliver M, Martin H (2005) Services web adaptés aux utilisateurs nomades. Proceedings UBIMOB05, 31 Mai- 03 Juin, Grenoble, France.

[Maamar et al., 05] Maamar Z, Mostefaoui SK, Mahmoud QH (2003) Context of personalized web services. Proceedings of the 38th Hawai International Conference on system sciences Model-View-Controller (MVC). Accessible à : http://ootips.org/mvc-pattern.html

[Mcdermid et Ripkin., 84] McDermid J., Ripkin K., *Life cycle support in the ADA environment.* Cambridge University Press, 1984.

[Mahfoudi, 97] Mahfoudhi, A. *TOOD : Une méthodologie de description orientée objet des tâches utilisateur pour la spécification et la conception des IHM : Application au contrôle du trafic aérien.* Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 1997.

[Millot, 88] Millot P. *Supervision des procédés automatisés et ergonomie.* Editions Hermes, Paris, Décembre 1988.

[Millot *et al.*, 91] Millot P., Roussillon E. Man-Machine Cooperation intelerobotics : Problematics and methdologies. *Second France Israel Symposium on Robotics*, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Gif sur Yvette, Avril 1991.

[Millot, 96] Millot P. De la surveillance à la supervision : intégration des opérateurs humains. *École d'été d'Automatique sur la surveillance des systèmes continus*, Tome 1, Grenoble, France, 1996.

[Moran, 81] Moran T. P. The Commande Language Grammar : a representation of the user interface of interactive computer system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, pp. 3-50, 1981.

[Moussa *et al.*, 06] Moussa F., Kolski C., Riahi M. (2006). Analyse des dysfonctionnements des systèmes complexes en amont de la conception des IHM : apports, difficultés, et étude de cas. Revue d'Interaction Homme Machine (RIHM), 7, pp. 79-111

[Muller, 02] Muller, M. J., "Participatory Design: The third space in HCI," in The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications. J. Jacko and A. Sears, Eds. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002, pp. 1051-1068.

[Norman, 86] Norman D.A. Cognitive engineering. In D.A. Norman & S.W. Draper (Eds.), *User centred system design: new perspectives on human computer interaction*, Hillsdale N.J., Elbraum, 1986.

[Nielsen, 93] Nielsen J. *Usability Engineering.* Academic Press, Boston, 1993

[Newcomb *et al.*, 03] Newcomb, E., Pashley, T. and Stasko, J. Mobile Computing in the Retail Arena (2003), Proceedings of the conference on Human factors in computing systems (CHI2003), ACM Press, Fort Lauderdale, April, pp. 337-344.

[Pascot et Bernadas, 93] Pascot D., Bernadas C. L'essence des methods : etude comparative de six méthodes de conception de systèmes d'information informatisés. *Actes INFORSID'93 « systèmes d'information, systèmes à base de connaissances »*, Lille, 11-14 mai 1993.

[Pascoe *et al.*, 00] Pascoe, J., Ryan, N. and Morse, D. Using while moving: HCI issues in fieldwork (2000). ACM Transactions on Computer Human Interaction, 7, pp. 417-437, January 2000.

[Paterno, 00] Paternò F. *Model-Based Design and Evaluation of Interactive applications*. Springer-Verlag, London, 2000.

[Pashtan *et al.*, 04] Pashtan A, Heuser A, Sceuemann P (2004) Personal services areas for mobile web applications. IEEE Internet computing, 8 (6), pp. 34-39.

[Payne, 86] S.J. Payne & T.R.G. Green, "Task-Action Grammars: a model of the mentalrepresentation of task languages", in Human-Computer Interaction, Vol. 2, No. 2, pp. 93-133, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1986

[Petri, 62] C.A. Petri, Kommunication mit automaten, PhD Dissertion. University of Bonn, 1962.

[Poh Lee *et al.*, 06] Poh Lee Siew, Lai Peng Chan, Eng Wah Lee, (2006), "Web services Implementation Methodology for SOA applications", IEEE International Conference on Industrial Informatics, IEEE Press, pp. 335-340.

[Poppendieck , 06] Poppendieck M., Poppendieck T., *Lean Software Development, From concept to cash*. Addison-Wesley, 2006.

[Rasmussen, 80] Rasmussen, J. The human as a system component. In H.T. Smith and T.R.G. Green (Eds.), *Human Interaction With Computer*, London Academic Press, 1980.

[Rasmussen, 86] Rasmussen J. *Information processing and human-machine interaction, an approach to cognitive engineering*. Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, Publishing, 1986.

[Raymond, 07] Raymond G. SOA : Architecture logique, principes, structures et bonnes pratiques. Accessible à : www.softeam.fr, février 2007.

[Reason, 90] Reason J (1990), Human Error. Cambridge University Press.

[Reenskaug, 79] Reenskaug T. *Models - Views - Controllers*. Technical note, Xerox PARC, December, 1979.

[Reinartz et Reinartz, 89] Reinartz S. J., Reinartz G. Verbal communication in collective control of simulated nuclear plant incidents. *Second European Meeting on Cognitive Science approaches to Process Control*, Siena, Italy, October 24-27, 1989.

[Reisner, 81] P. Reisner, "Formal Grammar and Design of an Interactive System", IEEE Transaction on Software Engineering, SE-5, pp. 229-240, 1981

[Rezgui, 07] Rezgui Y., Role-based service-oriented implementation of a virtual enterprise: A case study in the construction sector, Computers in Industry, Volume 58, Issue 1, January 2007, pp. 74-86.

[Richard, 83] Richard J.F. *Logique de fonctionnement et logique de l'utilisation*. Rapport de Recherche INRIA, Paris, 1983.

[Riera *et al.* 94] Riera B., Grislin M., Millot P. Methodology to evaluate man-car interfaces. *Proceedings IFAC/IFORS transportation systems: theory and application of*

advanced technology. Tianjin, China, preprints Vol. II. pp 459-469, August 24-26, 1994.

[Rey, 05] Rey Gaëtan, " Contexte en Interaction Homme-Machine : le contexteur". Ph.D. Thesis, Laboratoire Communication Langagière et Interaction Personne-Système, Fédération IMAG, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 2005.

[Rivard *et al.*, 05] Rivard F., Brendel C., Buche N., *Delayre S., Mocaër A., Nevers J. SOA et urbanisme, Le rôle des Architectures Orientées Services dans l'alignement métier des Systèmes d'Information*. Unilog Management, 2005.

[Robert, 03] Robert J.M. Que faut-il savoir sur les utilisateurs pour réaliser des interfaces de qualité ? In G. Boy (Ed.), *Ingénierie cognitive, IHM et cognition*, Hermès Lavoisier, Paris, pp. 249-283, 2003.

[Rouse, 83] Rouse W. B. Models of human problem solving: detection, diagnosis and compensation for system failures. *Automatica*, vol. 19, N° 6, November 1883.

[Roques, 02] Roques P., La démarche agile au service du e-business : Première partie Juin 2002 - Eyrolles

[Roques et Vallée, 04] Roques P., Vallée F., UML 2 en action, De l'analyse des besoins à la conception J2EE, 3ème édition Eyrolles, 2004,, ISBN 1 2-212- 1462-1

[Ross *et al.*, 77] Ross D. T., Kenneth E., Schoman J. R., Structured analysis for requirements definition. *IEEE Transactions on Software engineering*, Vol. SE-3, 1, January 1977.

[Royce, 70] Royce W.W. Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques. *Proceedings WESCON*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1970.

[Sassoon, 98] Sassoon J. Urbanisation des systèmes d'information. Hermès, Paris, 1998

[Sagar, 03] Sagar M. Maquettage d'interface homme-machine selon trois points de vue dans un contexte d'imagerie de supervision. *Proceedings of IHM 2003*, International Conference Proceedings Series, ACM Press, Caen, pp. 190-197, 2003.

[Scapin et Bastien, 01] Scapin D.L., Bastien J.M.C. Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception: l'approche MAD*. In Kolski C. (Ed.), *Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les SI 1*, pp. 85-116, Hermès, Paris, 2001.

[Shneiderman, 87] Shneiderman B. *Designing the user interface, Strategies for effective human computer interaction*. Addison Wesley Publishing Company, 1987.

[Sinclair *et al.*, 65] Sinclair, I.A.C., Sell, R.G., Beishon, R.J., Bainbridge L. Ergonomic study of L.D. Waste-heat boiler control room. *Journal Iron and steel inst.*, 204, pp. 434-442, 1965.

[Scapin et Golbreich, 89] Scapin D.L., Pierret-Golbreich C. Une méthode analytique de description des tâches. *Colloque sur l'ingénierie des Interfaces Homme-Machine*, Sophia Antipolis, pp. 131-148, 1989.

[Schaeck et Thompson, 03] Schaeck T., Thompson R. *Enabling Interactive, Presentation-Oriented Content Services Through the WSRP Standard*. Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS), 2003, http://www.oasis-open.org/committees/download.php/3657/WSRP_paper.html

[Schilit *et al.*, 94] Schilit, B. N., Adams, N., Want R. Context-aware computing applications. In *Proceedings Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. IEEE, December 1994

[Schulzrinne *et al.*, 03] Schulzrinne H., Casner S., Frederick R., Jacobson V. *RFC 3550 : RTP : A Transport Protocol for Real-Time Applications*. juillet 2003, Accessible à : http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt).

[Schwaber et Beedle, 02] Schwaber K., Beedle M. *Agile Software Development with Scrum*. Prentice Hall, 2002.

[Senach, 90] Senach B. *Evaluation ergonomique des interfaces homme-machine : une revue de la littérature*. Rapport de recherche, INRIA, n°1180, Sophia Antipolis, Mars 1990.

[Silvestre *et al.*, 96] Silvestre P., Verlhac D. Stratégie de conception des systèmes d'information. *Techniques de l'ingénieur*, Paris, France, pp. 1-24, 1996.

[Sheridan, 84] Sheridan T. B. Supervisory control of remote manipulators, vehicules and dynamic processes: Experiment I command and display aiding. *Advances in in Man-machine System research*, vol 1, 1984.

[Sheridan, 85] Sheridan, T.B. Forty-five years of man-machine system: history and trends. 2nd *IFAC Congress: Analysis, design and Evaluation of Man-Machine Systems*, Varese, September 1985.

[Sheridan, 88] Sheridan, T.B. Task allocation and supervisory control. In *Handbook of human-computer Interaction*, M. Helander (Ed.), Elsevier Science Publishers B.V., North Holland, 1988.

[Sheridan, 92] Sheridan, T.B. *Telerobotics, automation and human supervisory control*. The MIT press, 1992.

[Szekely, 96] Szekely P. Retrospective and Challenges for Model-Based Interface Development. In *Design, Specification and Verifica*tion of *Interactive Systems'96, Proceedings of the Eurographics Workshop*, Namur, Belgium, 5-7 June, 1996.

[Stammers et *al*,. 90] Stammers R. B., Carey M. S., Astley J. A., Task analysis. In *Evaluation of human work, A practical Ergonomics Methodology*, Wilson J. R. and Corlett E.N. (Eds.), Taylor & Francis, 1990.

[Tabary, 01] Tabary D. *Contribution à TOOD, une méthode à base de modèles pour la spécification et la conception des systèmes interactifs*. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Valenciennes, 2001.

[Tarby, 93] Tarby J.C. *Gestion automatique du dialogue Homme-Machine à partir des spécifications conceptuelles*. Thèse de doctorat, Toulouse, Septembre, 1993.

[Tarby *et al.*, 96] Tarby J.C., Barthet M.F. The DIANE + Method. *Proceedings of the 2nd International Worshop on Computer-aided Design of User Interfaces CADUI'96*, Namur, 1996, pp. 95-119.

[Tarby et *al.*, 01] Tarby J.C., Barthet M.F. Analyse et modélisation des tâches dans la conception des systèmes d'information : la méthode Diane +. In C. Kolski (Ed.), *Analyse et conception de l'IHM*, Hermès, pp. 117-144, 2001.

[Tardieu *et al.*, 85] Tardieu, H., Rochfeld, O., Colleti, R., Panet G., Vahee G. *La méthode Merise, démarches et pratiques*. Éditions d'Organisation (tome 2), Paris. 1985

[Tardieu *et al.*, 91] Tardieu, H., Rochfeld, O., Colleti, R. *La méthode Merise, principes et outils, 2ème édition*. Éditions d'Organisation (tome 1), Paris. 1991.

[Thayer *et al.*, 93] Thayer R.H., McGettrick A.D. (Eds.) *Software Engineering: a european perspective*. IEEE Computer Society Press, 1993.

[Thévenin et Coutaz, 99] Thévenin, D., Coutaz, J., 1999. Plasticity of user interfaces: framework and research agenda. Proceedings of Interact'99 seventh IFIP Conference on Human-Computer Interaction, Edinburgh, Scotland

[Thévenin, 01] Thévenin D., Adaptation en interaction homme-machine, cas de la plasticité, Thèse de doctorat, Université Joseph fourier, Grenoble, Décembre 2001

[Touloum, *et al.*, 08] Touloum K., Kerkar M., Idoughi D. Modélisation orientée services d'un système de maintenance industrielle, mémoire de magistère en informatique, école doctorale, Université A. Mira de Béjaia, 2008.

[Van Daele, 88] Van Daele A. Réduire l'écart entre la conception et l'évaluation des aides logicielles à l'opérateur : contributions de l'analyse de l'activité. In De Keyser V. et Van Daele A., *L'ergonomie de conception*, Edition Deboeck, Bruxelles, 1988

[Vanderdonckt et Coyette, 06] Vers un prototypage des interfaces graphiques incluant vraiment l'utilisateur final, L'humain comme facteur de performance des systèmes complexes, ERGO-IA'2006, 11, 12,13 Octobre 2006, Bidart/Biarritz France

[Vanderdonckt et Coyette, 07] Vanderdonckt J., Coyette A. Modèle, méthodes et outils de support au prototypage multi-fidélité des interfaces graphiques. *Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM)*, Vol 8 N°1, 2007

[Vickoff, 01] Vickoff J.P. *PUMA : Proposition pour l'Unification des Méthodes Agiles*. 2001, accessible à : www.Entreprise-Agile.com.

[Vickoff, 03] Vickoff J.P. *Systèmes d'Information et processus Agiles*. Editions Hermes, 2003.

[Vigner, 03] Vigner N. *Apports d'UML dans la conception et réalisation de nouvelles applications informatiques*. Mémoire de DESS, Applications des Réseaux et de la Télématique, Université Paris 7-Denis Diderot, Septembre 2003.

[Vittet, 81] Vittet J. *Éléments pour une conception integrée des salles de contrôle*. Thèse de Docteur Ingénieur, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981.

[Want *et al.*, 92] Want Roy, Hopper Andy, Falcao Veronica, Gibbons Jonathon, "The active Badge Location System", ACM Transactions on Information Systems, vol. 10, N° 1, pp. 91-102, January 1992.

[Warnier *et al.*, 03] Warnier, E., Ylimiemi, L., Joensuu, P. *Web based monitoring and control of industrial processes*. Report A, No 22, University of Oulu, Control Engineering Laboratory, September, 2003.

[White, 97] White P. RSVP and Integrated Services in the Internet: A tutorial. *IEEE Communication Magazine*, 1997, pp. 100-106.

[Wilson et Corlett, 96], Wilson J.R., Corlett E.N. (eds.) *Evaluation of human works : a practical ergonomics methodology (2nd edition)*. Taylor & Francis, 1996.

[Yang *et al.*, 03] Yang, S.H., Chen, X., Alty, J.L. Design issues and implementation of internet-based process control systems. *Control Engineering practice*, 11, 2003, pp. 709-720

[York *et al.*, 2004] York J., Pendharkar Parag C., Human–computer interaction issues for mobile computing in a variable work context. *Int. J. Human-Computer Studies*, 60, 2004, pp. 771–797.

[You *et al.*, 03] You, S., Wang, T., Eagleson, R., Meng, C., Zhang, Q. A low-cost internet-based telerobotics system for access to remote laboratories. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15, 2003, pp. 265-279

[Zimmerman *et al.*, 04] Zimmerman O., Korgdahl P., Gee C. Elements of services oriented analysis and design. IBM developerworks, june 2004, accessible à : www-106.ibm.com.

ANNEXES

A : Web Service Definition Language (WSDL)..... 194

B : Description sommaire de la spécification BPEL..... 196

C : Description sommaire du processus métier de la raffinerie de sucre..... 202

D : Tableaux représentant les différents acteurs, leurs catégories, leurs besoins, leurs tâches, et leurs activités, au niveau de la raffinerie de sucre..... 206

E : Profils des acteurs humains de l'organisation étudiée..... 213

F : Différents besoins en informations échangées entre les différents opérateurs..... 215

G : Expression de besoins métier en termes de services dans l'organisation étudiée..... 217

Annexe A : Web Service Definition Language (WSDL)

WSDL ou langage de définition de services web définit le contrat d'utilisation des services web. C'est un langage de description des services proposé par W3C se basant sur une grammaire XML pour décrire d'une manière abstraite et indépendante du langage de programmation, l'ensemble des fonctionnalités offertes par un service. Il permet de décrire l'interface du service, les types de données employés dans les messages, le protocole de transport employé dans la communication et des informations permettant de localiser le service spécifié [Lionel, 05].
La connaissance du fichier WSDL d'un service web donne donc tous les éléments nécessaires à l'invocation de ce service (figure A.1).

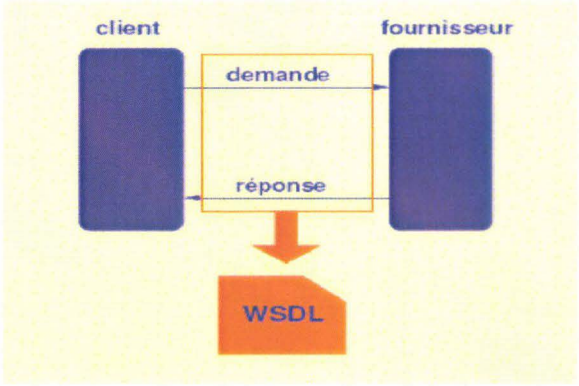

Figure A.1. Fichier WSDL de services web

Par ailleurs, WSDL propose une double description du service web (figure A.2) : une vue abstraite (le quoi ?) qui présente simplement les opérations et les messages des services et une vue concrète (le comment et le où ?) qui présente les choix d'implémentation faits par le fournisseur du service (détermination du protocole et du mode d'accès). Dans ce mémoire, seule la vue abstraite est considérée dans la démarche de spécification de l'IHM de supervision.

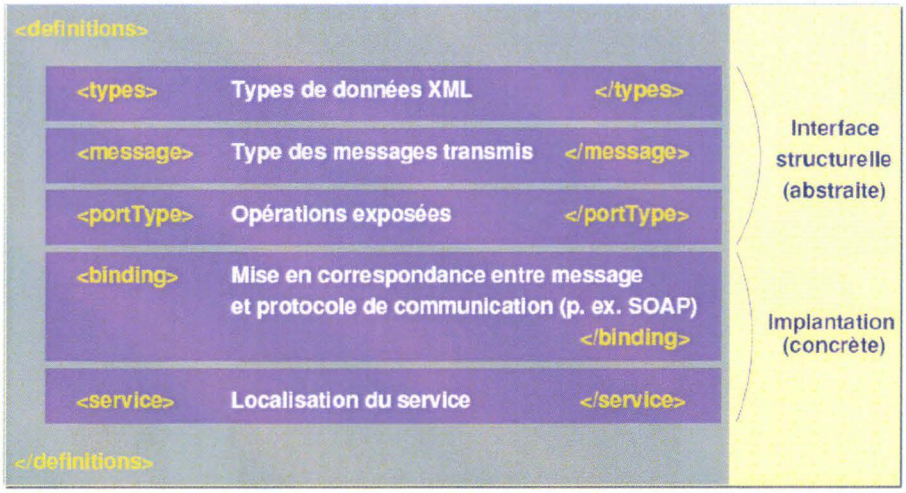

Figure A.2. Structure globale de WSDL (source : [Dumas et fauvet, 06])

La figure A.3 met en avant les différents éléments de spécification WSDL de deux services web interagissants.

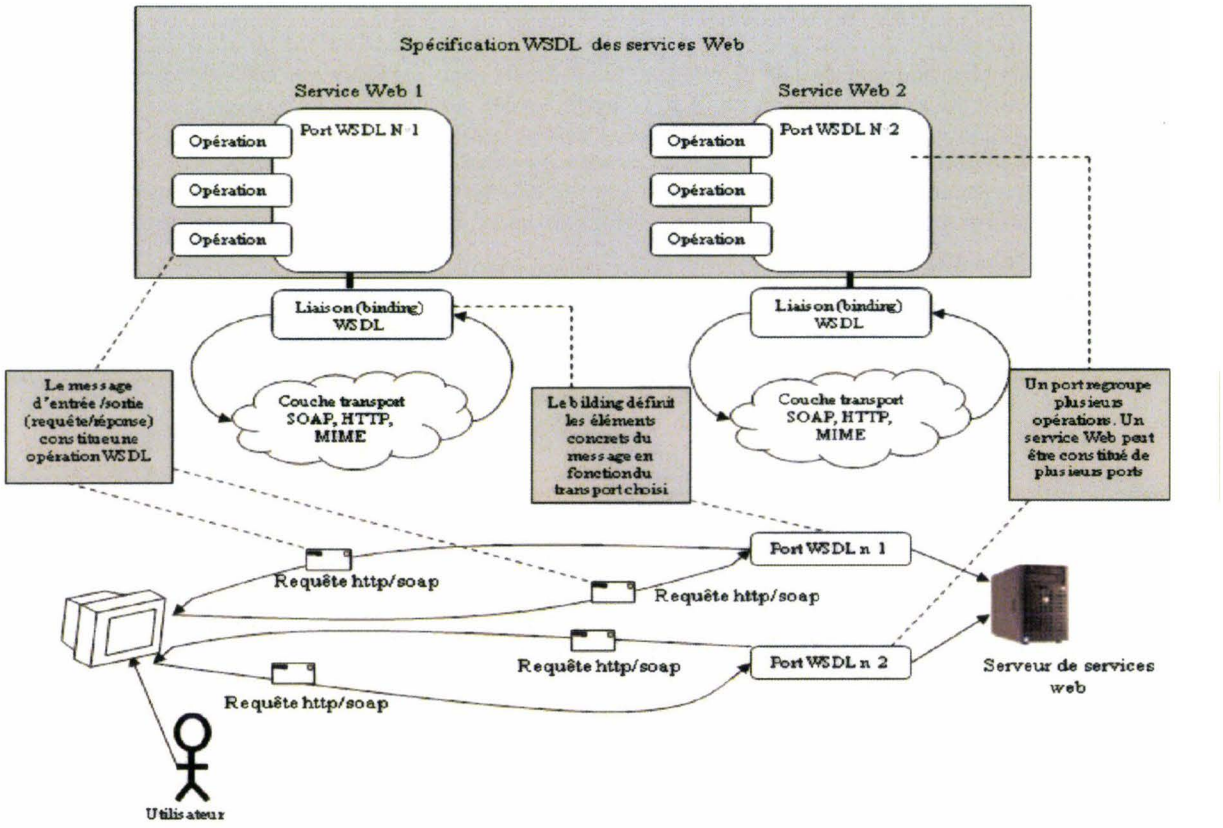

Figure A.3. Exemple de spécification WSDL de services web (source : [Fournier-morel, 06])

Annexe B : Description sommaire de la spécification BPEL

C'est une spécification conjointe d'IBM, Microsoft, et BEA (http://fr.bea.com). Elle remplace les précédentes spécifications XLANG de Microsoft, et WSFL (Web Services Flow Language) d'IBM.

BPEL est un langage de modélisation/orchestration des processus qui se base sur XML et qui soutient la technologie des services web, tels que SOAP, WSDL, UDDI, WS-Reliable Messaging, WS-Addressing, WS-Coordination et WS-Transaction (figure B. 1). Il permet ainsi l'intégration des processus métier avec des applications de services web automatisés.

La spécification initiale BPEL4WS (Business Process Execution Language for Web Services) date de 2002 ; elle est devenue WS-BPEL.
WS-BPEL ou BPEL dépend particulièrement des spécifications basées XML suivantes : WSDL - Web Services Description Language (http://www.w3.org/TR/wsdl), XPath expression language (http://www.w3.org/TR/xpath), Schema XML (http://www.w3.org/2001/XMLSchema.

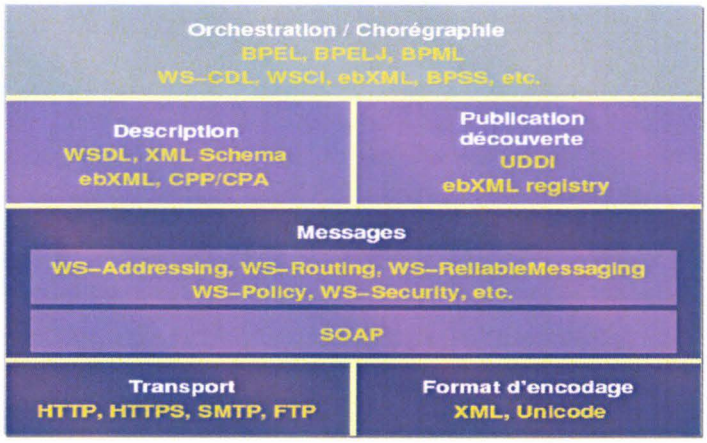

Figure B.1. La pile des Spécifications Web Services (source : [Dumas et fauvet, 06])

1. Définition du lien partenaire dans un processus métier

Cette interaction est définie à l'aide de l'attribut *Liens_Partenaire* (Partnerlinks), spécifié à l'aide de WSDL et caractérisé par le type de lien partenaire et son rôle (figure B.2).

```
<partnerLinks>
        <partnerLink name="ncname" partnerLinkType="qname"
        myRole="ncname"? partnerRole="ncname"?>+
        </partnerLink>
</partnerLinks>
```

Figure B.2. Définition du lien partenaire dans un processus métier

2. Déclarations de variables d'un processus métier

La spécification offre un langage d'expression et de requêtes permettant de manipuler et traiter ces variables (figure B.3).

```
<variables>?
<variable name="ncname" messageType="qname"?
type="qname"? element="qname"?/>+
</variables>
```

Figure B.3. Déclarations de variables d'un processus métier

3. Activités de base d'un processus métier

Parmi les principales activités de base offertes par la spécification à base de services web, sur laquelle nous nous sommes appuyés dans ce mémoire en vue de spécifier l'interaction homme-machine, on peut citer :

- activité *receive* (ou *recevoir une requête*) qui consiste à recevoir des messages en provenance des partenaires externes permettant à un processus métier de bloquer l'exécution. Elle spécifie aussi le lien partenaire, l'opération devant être exécutée par le service web partenaire ainsi que la variable (ou les variables) devant contenir les données requises et reçues (figure B.4).

```
<receive partnerLink="ncname" portType="qname" operation="ncname"
variable="ncname"?
</receive>
```

Figure B.4. Description sommaire de l'activité *receive* (recevoir requête)

- activité *reply* (ou *répondre à une requête*) : en jonction avec l'activité *receive*, elle consiste à spécifier une opération de type requête-réponse sur un canal de communication particulier représenté par le lien partenaire (*partnerlink*). En d'autres termes, elle permet à un processus métier de recevoir ou retourner une donnée en réponse à une sollicitation de service. Elle spécifie aussi le lien partenaire et l'opération devant être exécutée par le service web partenaire ainsi que la variable (ou les variables) devant contenir les réponses requises (figure B.5). La réponse peut être de deux formes : réponse normale (scénario nominal) ou réponse erronée (scénario alternatif) permettant ainsi à une activité de choix de s'exécuter (voir plus loin).

```
<reply partnerLink="ncname" portType="qname" operation="ncname"
variable="ncname"? faultName="qname"?
</reply>
```

Figure B.5. Description sommaire de l'activité *reply*

- activité *invoke* (ou *invoquer une opération*) : elle consiste à appeler un service web fourni ou mis à disposition par un partenaire externe. En d'autres termes, elle permet à un processus métier d'appeler un autre service web en spécifiant le lien partenaire et l'opération devant être exécutée par le service web partenaire appelé (figure B.6). Par ailleurs, l'opération invoquée par le processus métier peut être soit une opération unidirectionnelle (dans un seul sens), dans ce cas le processus continue son exécution sans attendre la réponse du partenaire externe (asynchrone), ou bidirectionnelle (requête-réponse), dans ce cas le processus complet ou en partie est bloqué en attente d'une réponse du partenaire externe (synchrone). Dans ce dernier cas, des variables d'entrée (input) et de sortie (output) sont nécessaires.

```
<invoke partnerLink="ncname" portType="qname" operation="ncname"
inputVariable="ncname"? outputVariable="ncname"?
</invoke>
```

Figure B.6. Description sommaire de l'activité *invoke*

A l'aide de ces types d'activité, on peut spécifier des fonctionnalités de synchronisation de l'interaction homme-machine de supervision. Ceci concerne : (1) des scénarios invoquant des services web (service web synchrone) nécessitant une réponse immédiate ou dans un délai fixé, permettant ainsi de spécifier ou modéliser une tâche utilisateur nécessitant une réponse dans un délai fixé de la part d'un autre utilisateur ou système, sinon la tâche

échoue ; (2) des scénarios invoquant des services web (service web asynchrone) nécessitant une exécution longue et qui ne sont pas tenus de répondre immédiatement ou dans un délai fixé.

- activité *assign* (ou *activité de manipulation de données*) : elle consiste en un ensemble d'opérations permettant de copier des données à partir d'une variable dans une autre. Comme on peut insérer ou copier tout ou une partie des données en utilisant un langage de requête standard (figure B.7).

```
<assign standard-attributes>
        standard-elements
        <copy>+
        from-spec
        to-spec
        </copy>
</assign>
```

Figure B.7. Description sommaire de l'activité *assign*

4. Activités structurées

La spécification prônée dans ce mémoire permet aussi de structurer la logique métier selon les besoins métier. Elle offre un formalisme permettant de spécifier un certain nombre d'activités structurées. Parmi les principales activités structurées on peut citer :

- activité *sequence* (ou *séquence d'activités ordonnées*) : elle consiste à définir une collection d'activités devant être exécutées séquentiellement (figure B.8).

```
<sequence standard-attributes>
        standard-elements
        activity+
</sequence>
```

Figure B.8. Description sommaire de l'activité *sequence*

- activité *if-else, switch* (ou *activité conditionnelle*) : elle consiste à sélectionner une seule branche d'activités devant être exécutées parmi un nombre de choix possible. Pour chaque choix une condition est vérifiée et si elle évaluée à vraie, la branche d'activités associée est exécutée sinon une branche d'activités alternative est considérée (figure B.9).

```
<if standard-attributes>
        standard-elements
        <condition expressionLanguage="anyURI"?>boolexpr</condition>
        activity
        <elseif>*
        <condition expressionLanguage="anyURI"?>boolexpr</condition>
        activity
        </elseif>
        <else>?
        activity
        </else>
</if>
```

```
<switch standard-attributes>
        standard-elements
        <case condition="bool-expr">+
        activity
        </case>
        <otherwise>?
        activity
        </otherwise>
</switch>
```

Figure B.9. Description sommaire de l'activité *if-else et switch*

Il existe trois manières de spécifier des activités répétitives :

- activité *while* : elle consiste à exécuter une activité itérative autant de fois que c'est nécessaire, c'est-à-dire tant qu'une certaine condition reste vraie (figure B.10) en plus des activités *repeatUntil* et *forEach*.

```
<while condition="bool-expr" standard-attributes>
        standard-elements
        activity
</while>
```

Figure B.10. Description sommaire de l'activité *while*

- activité *flow* (ou *activité parallèle*) : elle consiste à exécuter une activité structurant un traitement parallèle d'un processus métier (figure B.11). En d'autres termes, les services web correspondants seront invoqués d'une manière concurrente et synchronisée. Par ailleurs, l'activité *flow* ne se termine que lorsque toutes les autres activités sont terminées.

Ce type d'activité ou outil de spécification concerne un processus métier nécessitant l'exécution de plusieurs tâches en même temps. Cela revient à rassembler ou collecter des informations de plusieurs sources asynchrones (services web asynchrones). Le processus métier peut alors invoquer plusieurs services web en même temps et reçoit les informations (réponses) comme elles arrivent.

```
<flow standard-attributes>
        standard-elements
        <links>?
        <link name="ncname">+
        </links>
        activity+
</flow>
```

Figure B.11. Description sommaire de l'activité *flow*

- activité *scope* (ou *activités composées*) : elle consiste à définir des groupements fonctionnels d'activités imbriquées. Elle fournit le contexte d'exécution des activités incluses ou contenues. Elle considère la logique métier d'une partie du processus avec leurs propres liens partenaires, échanges de messages, variables, gestionnaires d'erreurs, etc. (figure B.12).

Par conséquent, à l'aide de l'attribut (élément) scope, il est possible de diviser un processus métier de supervision complexe en portions de processus contenant chacun ou définissant une portion de la logique globale du processus métier.

```
<scope>
        standard-elements
        <variables>? ... </variables>
        <faultHandlers>? ... </faultHandlers>
        <eventHandlers>? ... </eventHandlers>
        activity
</scope>
```

Figure B.12. Description sommaire de l'activité *scope*

5. Gestion d'erreurs ou d'exceptions -

La gestion d'erreurs ou d'exceptions dans un processus métier concerne le traitement de ces erreurs dans un contexte correspondant à une exécution anormale du processus. En d'autres termes, il est nécessaire de considérer des situations exceptionnelles pouvant apparaître durant le déroulement du processus tel que par exemple invoquer ou appeler un service web non disponible.

A l'aide du constructeur *<faultHandlers>* (figure B.13), on peut spécifier un ensemble d'activités spécifiques ou dédiées à la gestion des ces exceptions ou erreurs définies par les activités <catch> et <catchAll>.

Chaque constructeur <catch> est défini pour intercepter une situation particulière à laquelle peuvent être associés un nom et la variable relative aux données correspondantes à la situation en question.

Une autre clause <catchAll> peut être ajoutée pour spécifier ou permettre de capter toute autre situation exceptionnelle non prévue par un <catch> spécifique ou dédié.

A l'aide de ce type de spécification, on peut considérer les scénarios de supervision en cas de dysfonctionnement par exemple, pour lesquels chaque scénario d'exception ou alternative peut être modélisé à l'aide d'une activité <catch>. En revanche, tous les scénarios non prévus sont considérés par l'activité <catchAll> correspondant aux scénarios d'exception par défaut.

```
<faultHandlers>
<catch faultName="QName"?
faultVariable="BPELVariableName"?
( faultMessageType="QName" | faultElement="QName" )? >*
activity
</catch>
<catchAll>?
activity
</catchAll>
</faultHandlers>
```

Figure B.13. Description sommaire du constructeur *<FaultHandlers>*

6. Gestion des événements et dépassements de délais

Chaque processus ou partie (scope) peut contenir un ensemble de gestionnaires d'évènements (event handlers) pouvant être invoqués dès l'apparition d'évènement correspondant et s'exécuter concurrentiellement. Ceci est défini à l'aide du constructeur *<eventHandlers>* (figure B.14). La spécification offre deux types d'évènements : (1) évènements pouvant être contenus dans des messages correspondant aux opérations WSDL (l'évènement spécifié attend l'arrivée d'un message), ces événements étant spécifiés à l'aide de *<onEvent>*, (2) évènements pouvant être des alarmes survenant suivant les moments définis par l'utilisateur, spécifiés à l'aide de *<onAlarm>*.

```
<eventHandlers>?
        <onEvent ?>*
                <scope ...>...</scope>
        </onEvent>
        <onAlarm>*
                <scope ...>...</scope>
        </onAlarm>
</eventHandlers>
```

Figure B.14. Description sommaire du constructeur *<eventHandlers>*

Enfin, l'ensemble des éléments de spécification, décrits ci-dessus d'une façon très succinctes mais d'une façon pertinente quant à la spécification de l'interaction homme-machine basée sur les services web, peut être exprimé globalement comme suit (figure A.15).

```
<process>
<partnerLinks> ... </partnerLinks>
<partners> ... </partners>
<variables> ... </variables>
<faultHandlers> ... </faultHandlers>
<compensationHandler> ... </compensationHandler>
<eventHandlers>?
<onMessage> ... </onMessage>
<onAlarm> ... </onAlarm>
</eventHandlers>
activity
</process>
```

Figure B.15. Principaux éléments de spécification d'un processus métier

Annexe C : Description sommaire du processus métier de la raffinerie de sucre

1. Section 1 (Affinage - Refonte)

L'affinage consiste à enlever les couches d'impureté présentes à la surface des cristaux du sucre brut.
Après pesage, le sucre roux est mélangé avec une quantité d'eau ou une liqueur d'affinage saturée en sucre. Ensuite, il est malaxé pour permettre la diffusion des impuretés superficielles sans provoquer la refonte des cristaux. La séparation du sucre et de l'égout d'affinage se fait par centrifugation dans une essoreuse discontinue. Le sucre affiné obtenu est ensuite refondu à l'eau dans un fondoir de façon à obtenir un sirop. L'égout contenant les impuretés est traité dans le processus pour extraire le sucre résiduel.

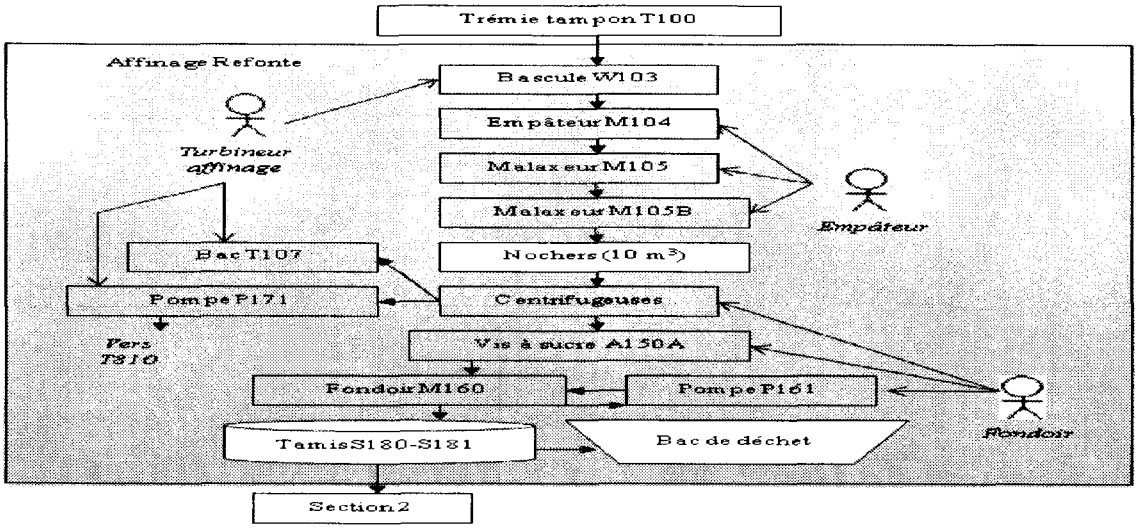

Figure C.1. Vue globale de la section 1

2. Section 2 (Carbonatation)

La carbonatation est un procédé chimique permettant de décolorer le sirop résultant de la refonte du sucre brut affiné provenant de la section 1. Ce procédé consiste à additionner au sirop de la chaux préparée sous forme de lait de chaux dosé à 16° baumé et à faire barboter dans ce mélange. Il est ensuite introduit dans des chaudières à carbonater avec du gaz CO2 provenant des chaudières à vapeur. Sous l'action du CO2, la chaux se transforme en carbonate insoluble qui piège les impuretés contenues dans le sirop de refonte.

3. Section 3 (Filtration)

Le sirop issu de la carbonatation contient une suspension de carbonate de calcium. Cette dernière est séparée par une filtration sur des filtres autonettoyants à bougies en toile. Le sirop filtré est envoyé vers la décoloration, la boue résultante passera par un filtre presse pour récupérer le sucre résiduel, sous forme de petit jus. Les boues (ou écumes) sont évacuées et utilisées pour l'amendement du sol (engrais).

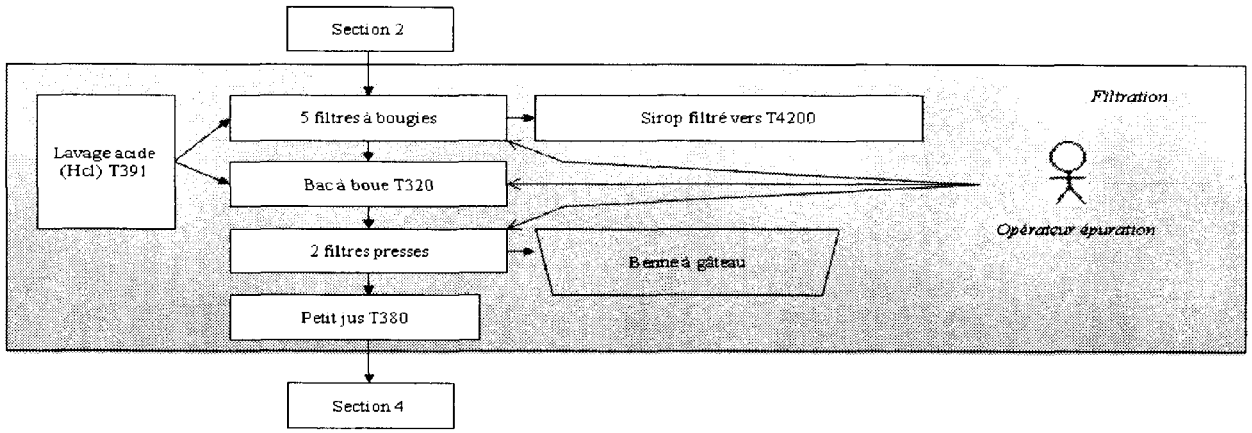

Figure C.2. Vue globale de la section 3

4. **Section 4 (Décoloration)**

La décoloration permet d'enlever les pigments colorants résiduels ; celle-ci se fait par l'intermédiaire d'une résine échangeuse d'ions décolorante. Cette étape pousse la décoloration du sucre au maximum. C'est une technologie récente au raffinage. Les résines échangeuses d'ions sont régénérées après saturation par le passage de saumure. Une station de nano filtration est utilisée ensuite pour épurer au maximum les rejets de la régénération (pigments) et permettre le recyclage de la saumure.

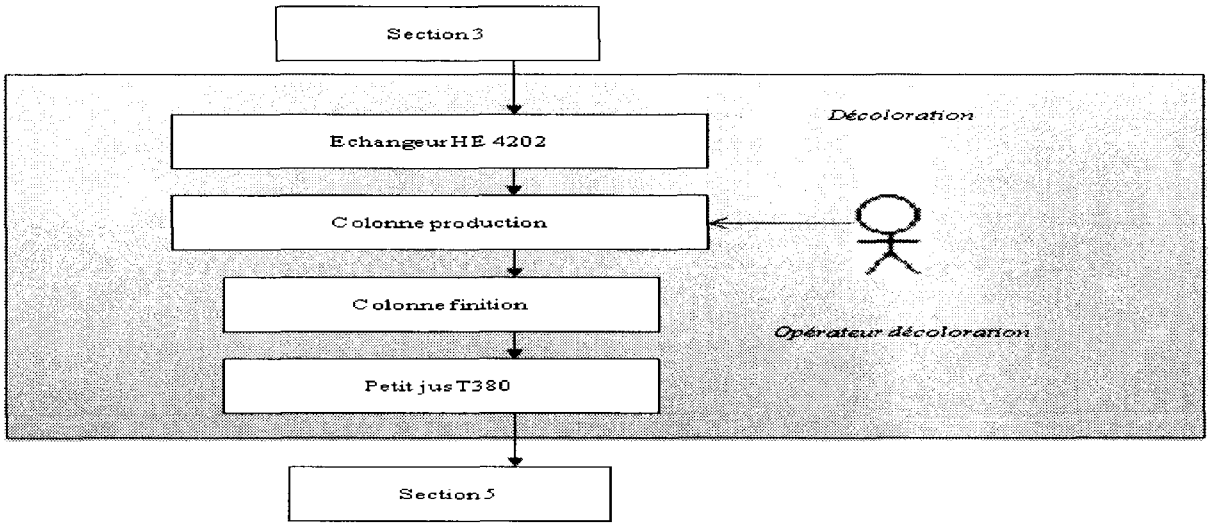

Figure C.3. Vue globale de la section 4

5. **Section 5 (Concentration)**

Cette opération consiste à ramener la concentration du sirop décoloré à un brix (pourcentage de sucre contenu dans le jus) de 70% par l'évaporation d'une certaine quantité d'eau introduite par les opérations précédentes. Cette section facilitera la cristallisation du sucre qui est la partie la plus délicate du processus de fabrication.

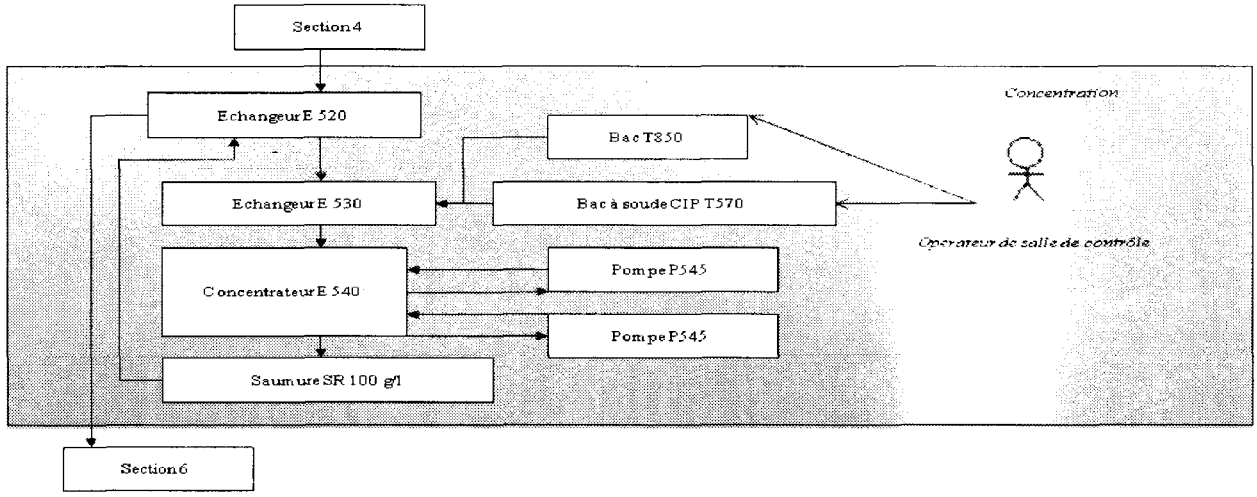

Figure C.4. Vue globale de la section 5

6. **Section 6 (Cristallisation Haut Produit)**

Le sirop concentré est introduit dans des cuites pour sa cristallisation. Pour cela on chauffe le sirop sous vide pour évaporer une partie de l'eau afin d'atteindre le point de saturation. A ce moment on introduit une semence de sucre qui provoque la cristallisation. Le sirop vient ensuite grossir ces germes qui deviennent des cristaux. Cette étape est effectuée par un ajout de sirop et un chauffage simultané à la vapeur (montée de cuite). A un certain niveau de la

cuite on fait un serrage, c'est-à-dire qu'on chauffe sans ajouter de sirop pour épuiser au maximum le sucre contenu dans le sirop.
On supprime le vide de l'appareil à cuire et on coule le mélange obtenu (masse cuite) dans un malaxeur où il est malaxé afin d'éviter la prise en masse.
Cette masse cuite est ensuite centrifugée dans une essoreuse qui sépare les cristaux de la liqueur mère appelée égout. Le sucre obtenu qui est humide est convoyé au séchage. L'égout qui contient encore du sucre cristallisable est renvoyé pour réaliser une nouvelle cristallisation.
On réalise ainsi trois jets de sucre raffiné. L'égout final qui est de pureté insuffisante pour produire un sucre raffiné est envoyé à la cristallisation bas produit.

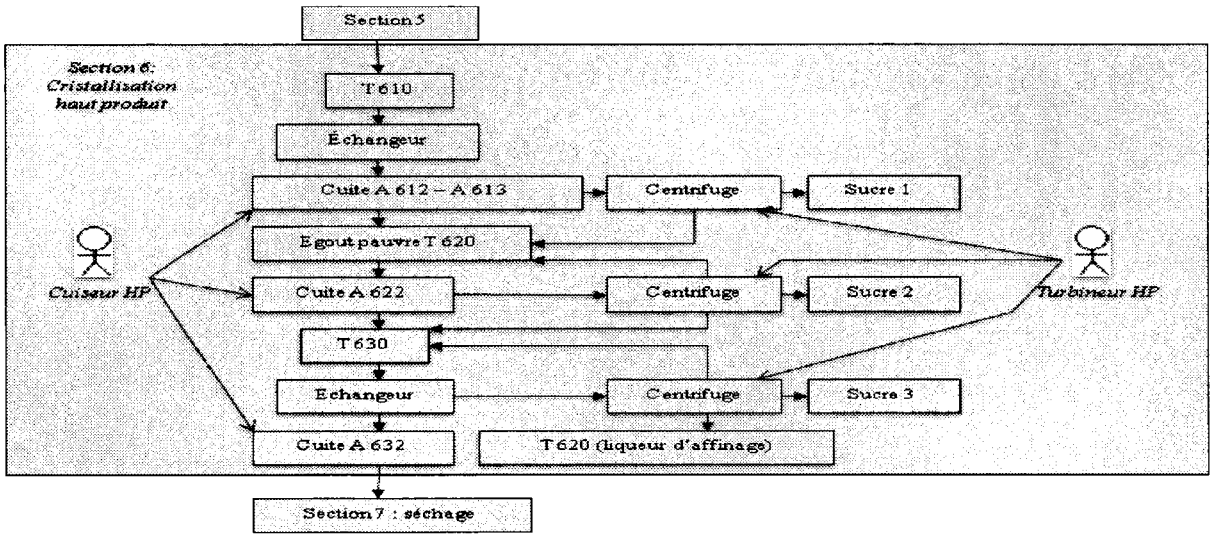

Figure C.5. Vue globale de la section 6

7. Section 7 (Séchage)

En sortant de la cristallisation, le sucre est humide (0.05%) pour permettre une bonne conservation. Il est séché dans un cylindre à air chaud qui provoque l'évaporation de l'humidité, puis refroidi dans un sécheur à lit froidissant et enfin envoyé vers les silos de maturation pour finaliser la déshumidification et assurer son stockage en vrac.

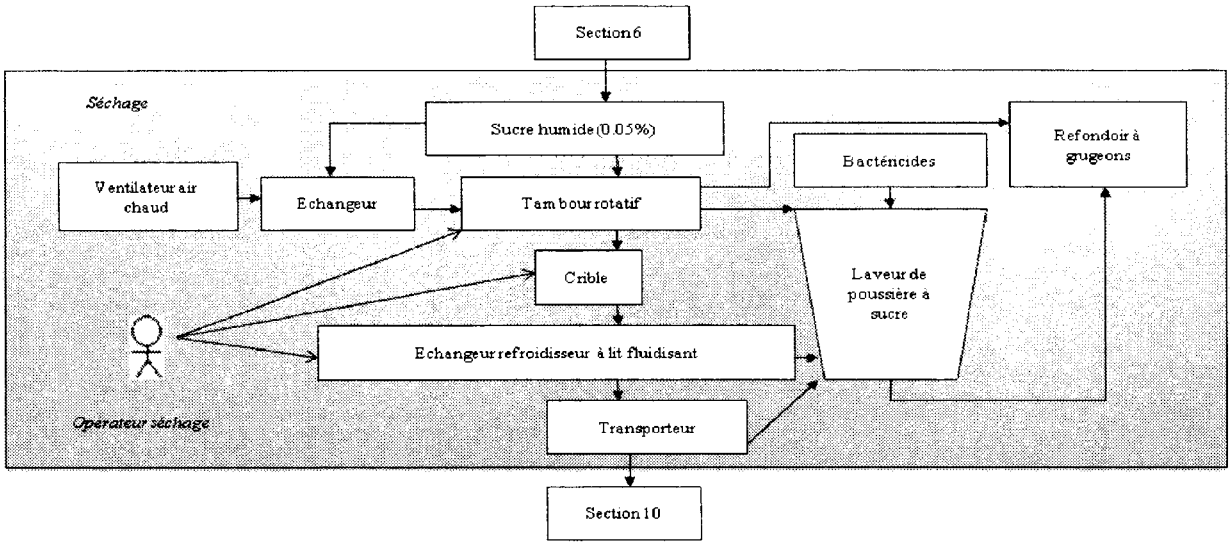

Figure C.6. Vue globale de la section 7

8. Section 8 (Cristallisation Bas Produit)

Cette étape consiste à récupérer le sucre encore contenu dans les égouts provenant des cuites HP. Cela se fait en trois étapes (jets) dans des cuites et centrifuges.

Lors de l'affinage, la séparation du sucre et du sirop de lavage (liqueur d'affinage) nous donne un sirop appelé égout d'affinage. Celui-ci est séparé en deux, l'égout riche est réutilisé comme liqueur d'affinage, l'égout pauvre est envoyé vers cette section pour son épuisement en sucre. Les cuites sont identiques à celle de la cristallisation HP. La première étape nous donne un sucre A pouvant être séché et consommé comme sucre roux, ou refondu pour être retraité et obtenir du sucre blanc. Les sucres B et C ne sont que des moyens d'épuisement complémentaires.

L'égout final de la centrifugation de la masse cuite C contient le non sucre et une partie équivalente de sucre qui n'est plus cristallisable qui s'appelle la millasse.

C'est un sous produit qui est commercialisable pour diverses utilisations dont la production d'alcool (distillation après fermentation), la fabrication de levure boulangère et l'introduction dans l'alimentation du bétail.

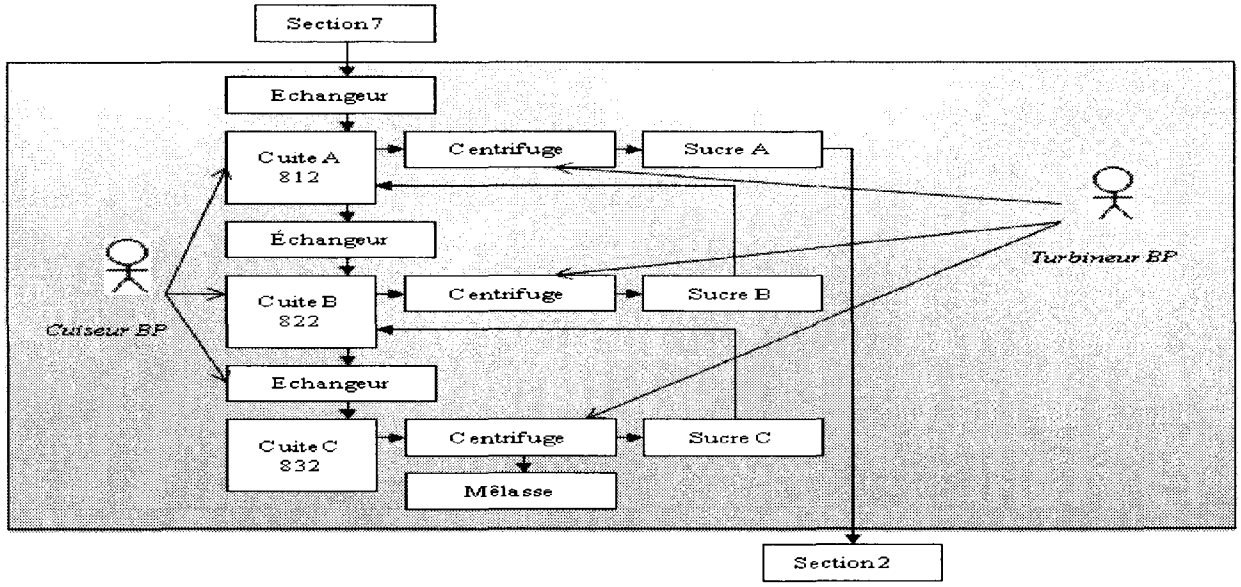

Figure C.7. Vue globale de la section 8

9. Section 9 (Utilités)

Cette section comporte tout ce qui est nécessaire au fonctionnement de la raffinerie en vapeur, eau, gaz carbonique, et réseau du vide.

10. Section 10 (Conditionnement)

Dans cette section, le sucre provenant du séchage est stocké dans des silos pendant une durée maximum de 48 heures pour assurer la maturation avec de l'air conditionné qui élimine l'humidité résiduelle contenue dans les cristaux de sucre. Ce sucre est ensuite ensaché sur six lignes, chaque ligne compte une ensacheuse, une peseuse, une couseuse, et une encamionneuse. Le sucre ainsi produit est conditionné en sac de 50 kg ou en big bag de 500 kg.

Annexe D : Tableaux représentant les différents acteurs, leurs catégories, leurs besoins, leurs tâches, ainsi que leurs activités, au niveau de la raffinerie de sucre

Niveaux	Catégorie	Acteurs humains	Activités	Tâches	Besoins
Management	Personnel de direction	Directeur général	Assurer un fonctionnement meilleur, continu, et croissant de l'unité, améliorer les conditions de travail.	Tracer la stratégie de l'unité, maximiser la production, prendre des décisions relatives à l'unité, établir une stratégie de développement pour l'entreprise, passer des commandes vis-à-vis des fournisseurs,…	• Etre informé de la situation journalière (quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie, quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage), du programme des ventes, • Moyens de communication adéquats, etc.
		Directeur de production	Assurer une meilleure, et production continue, etc.	Assurer le suivi de production, assurer l'approvisionnement permanent, prendre des décisions relatives à la production	• Être informé de la situation journalière (quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie, quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage), quantité de sirop disponible dans le bac, débit de carbonatation. • Moyens de communication adéquats, etc.
		Chef de fabrication	Assurer une fabrication meilleure, continue du sucre, etc.	Assurer le suivi de la fabrication du sucre, prendre des décisions relatives à la fabrication, choix des sacs pour l'ensachage, etc.	• Être informé de la situation journalière (quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie, quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage), quantité de sirop disponible dans le bac, débit de carbonatation. • Moyens de communication adéquats, etc.
		Assistant de direction	Assister le directeur général dans son travail	Assister le directeur général dans son travail, passer des commandes vis-à-vis des fournisseurs, demander le document de situation journalière au service de gestion des stocks, demander le programme des ventes à la direction commerciale, etc.	• Être informé de la situation journalière (quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie, quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage), du programme des ventes. • Moyens de communication.
Unité de production	Opérateur de terrain	Chef de quart	Assurer le bon fonctionnement du processus de production, et une meilleure coordination au sein du quart	Participer à la gestion des problèmes, prendre des décisions relatives à la production durant le quart, faire la ronde de toutes les sections, avertir l'opérateur concerné si un problème non remarqué surgit, intervenir lui même, ou bien alerter un opérateur de maintenance dans le cas de panne.	• Être informé du tonnage de sucre produit, quantité de sirop disponible dans le bac, débit de carbonatation, du déroulement du processus de production, des problèmes rencontrés, des moyens d'intervention, de supervision, et de communication, etc.

Unité de production	Opérateur de terrain	Opérateur de séchage	Supervision de la section 7 'séchage'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller le séchage, maintenir une fiche de poste, etc.	• Informations relatives à l'état de la section 7 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication, etc.
		Opérateur maturation	Supervision de la section 10 'conditionnement'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la section maturation, assurer le changement des sacs de conditionnement (en sac de 50 ou 500 Kg), maintenir une fiche de poste, etc.	• Informations relatives à l'état de la section 10 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), le plan de production établi par la direction de production • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Préparateur lait de chaux	Supervision de la section 2 'carbonatation'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la préparation du lait de chaux, maintenir une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 2 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Opérateur épuration	Supervision des sections 2 'carbonatation' et 3 'filtration'	Supervision des indices des sections, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la carbonatation, maintenir une fiche de poste, • dans le cas d'une panne au niveau du pH-mètre, prélever des échantillons pour mesurer l'alcalinité au laboratoire, régler le PH manuellement, • dans le cas d'une émulsion au niveau des chaudières, ajouter de l'huile végétale, entretenir et nettoyer les chaudières, enlever le dépôt de carbonate de calcium dans les chaudières. Surveiller la filtration pour obtenir un jus trouble, faire circuler le sirop dans les autres filtres, • dans le cas où l'agitateur de bac à boue tombe en panne, ajouter de l'eau dans le bac pour diluer la boue, démarrer l'agitateur, • dans le cas où le débit de sirop est faible, ou la pression différentielle augmente, nettoyer les toiles des filtres,	• Informations relatives à l'état des sections 2 et 3 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.

Unité de production	Opérateur de terrain	Turbineur HP	Supervision de la section 6 'cristallisation HP'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance. Surveiller la cristallisation HP, • dans le cas d'une panne au niveau des vannes pneumatiques, assurer la conduite en manuelle, • dans le cas de balourd très important (ex : roulements détérioré), actionner l'arrêt d'urgence. • dans le cas de déchirure de la toile, arrêter le transporteur à sucre puis les centrifuges, et couper l'arrivé de la masse cuite, assurer l'entretien, tel que : le changement des toiles (toile de soutien, toile sandwich, toile de travail), graisser l'arbre de l'obturateur et l'arbre de la charrue, etc., maintenir une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 6 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Turbineur BP	Supervision de la section 8 'cristallisation BP'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres, ainsi que sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la cristallisation BP, et d'autres tâches similaires à celles du Turbineur BP, maintenir une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 8 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Empâteur	Supervision de la section 1 'affinage refonte'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance. surveiller la partie refonte, où dans le cas ou l'empâteur (M104) tombe en panne, vidanger dans le malaxeur (M105B) à l'aide des vannes de vidanges (même chose pour les autres malaxeurs), ou si le magma est trop liquide, malaxer plus longtemps dans le malaxeur (M105), maintenir une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 1 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.

Unité de production	Opérateur de terrain	Turbineur affinage	Supervision de la section 1 'affinage refonte'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la partie affinage, tel que dans le cas où la bascule (W103) tombe en panne, faire le dosage tout en contrôlant visuellement ; ou si la pompe de l'égout pauvre (P171) est en panne, fait passer l'égout pauvre vers le bac liqueur d'affinage (T107), maintenir une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 1 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
	Opérateur de salle de contrôle	Fondoir	Supervision de la section 1 'affinage refonte'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention sur les pupitres et sur les machines, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la partie refonte, dans le cas où la vis à sucre s'arrête, la vider et arrêter les centrifugeuses, ou si l'un des agitateurs du fondoir (M160) s'arrête, recycler plus longtemps à l'aide de la pompe (P161), maintenir une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 1 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Cuiseur HP	Supervision de la section 6 'cristallisation HP'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention, fermeture et ouverture de vannes, arrêt et démarrage de moteurs sur synoptique en salle de contrôle, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller les cuites HP, augmenter ou diminuer le débit de sirop. Si la masse cuite s'avère trop serrée, vidanger par la vapeur, une fois la masse cuite dans le malaxeur, diluer avec de la liqueur standard ; dans le cas où l'agitateur de la cuite tombe en panne, faire durer la cuisson plus longtemps, etc. Dans le cas de balourd très important (ex : roulements détérioré), actionner l'arrêt d'urgence ; dans le cas d'une masse mal cuite ou serrée, diminuer la quantité de chargement de la masse cuite, etc. maintenir un registre de salle de contrôle et une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 6 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.

Unité de production	Opérateur de salle de contrôle	Cuiseur BP	Supervision de la section 8 'cristallisation BP'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention, fermeture et ouverture de vannes, arrêt et démarrage de moteurs sur synoptique en salle de contrôle, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller les cuites BP, et d'autres tâches similaires à celles du Cuiseur HP, maintenir un registre de salle de contrôle et une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 8 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Carbo-filtreur	Supervision de la section 2 'carbonatation'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention, fermeture et ouverture de vannes, arrêt et démarrage de moteurs sur synoptique en salle de contrôle, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la carbonatation, dans le cas par exemple où le gaz provenant de la chaudière est pauvre en gaz carbonique, augmenter le débit du gaz carbonique, maintenir un registre de salle de contrôle et une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 2 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Opérateur décoloration	Supervision de la section 4 'décoloration'	Supervision des indices de la section, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention, fermeture et ouverture de vannes, arrêt et démarrage de moteurs sur synoptique en salle de contrôle, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la décoloration, maintenir un registre de salle de contrôle et une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de la section 4 (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
		Opérateurs de salle de contrôle	Supervision de toutes les sections, principalement les sections 5 'concentration' et 9 'utilités'	Supervision des indices des sections, fixation des paramètres et des seuils, acquittement et traitement des alarmes, intervention, fermeture et ouverture de vannes, arrêt et démarrage de moteurs sur synoptique en salle de contrôle, sollicitation des opérateurs de maintenance, surveiller la concentration afin d'éviter le dépôt de sucre dans les conduites, pomper une solution composée de l'eau du processus venant du bac (T850) et de la soude diluée alimentant un circuit de lavage à partir du bac (T570), surveiller la section utilités, maintenir un registre de salle de contrôle et une fiche de poste.	• Informations relatives à l'état de toutes les sections, en plus des sections 5 et 9 supervisées en priorité (indices des capteurs, résultats du laboratoire, etc.), • moyens d'intervention, de supervision, et de communication.
Maintenance	Opérateur de maintenance	Mécanicien	Assurer la maintenance du matériel au niveau mécanique	Rechercher la cause de l'arrêt ou du dysfonctionnement mécanique, et régler le problème	Moyens de réparation et maintenance, documentation relative à la maintenance en mécanique, sollicitation ou requête pour régler un problème, informations relatives aux problèmes.

Maintenance	Opérateur de maintenance	Automaticien	Assurer la maintenance du matériel au niveau automatique	Assurer la maintenance du matériel au niveau automatique	Moyens de réparation et maintenance, documentation relative à la maintenance en automatique, sollicitation ou requête pour régler un problème, informations relatives aux problèmes,
		Électricien	Assurer la maintenance du matériel au niveau électrique	Rechercher la cause de l'arrêt ou du dysfonctionnement électrique, et régler le problème	Moyens de réparation et maintenance électrique, documentation relative à la maintenance en électricité, sollicitation ou requête pour régler un problème, informations relatives aux problèmes.
		Aide mécanicien	Assurer la maintenance du matériel au niveau mécanique	Aider les opérateurs de maintenance au niveau mécanique	Moyens de réparation et maintenance, documentation relative à la maintenance en mécanique, sollicitation ou requête pour régler un problème, informations relatives aux problèmes.
Laboratoire d'analyses	Personnel de laboratoire	Coordinateur de laboratoire	Assurer une qualité meilleure du produit	Assurer la coordination au sein du laboratoire, prélever et analyser des échantillons, publier le support des résultats des analyses et du bulletin d'analyse contradictoire	Matériel d'analyse, et moyens de communication, demandes d'analyse.
		Adjoint du coordinateur de laboratoire	Assurer une qualité meilleure du produit	prélever et analyser des échantillons, publier le support des résultats des analyses.	Matériel d'analyse, et moyens de communication, demande d'échantillon.
		Opérateur de laboratoire	Assurer une qualité meilleure du produit	prélever et analyser des échantillons, publier des résultats des analyses	Matériel d'analyse, et moyens de communication, demande d'échantillons.
		Opérateur de laboratoire surface	Assurer une qualité meilleure du produit	prélever et analyser des échantillons, publier des résultats des analyses, remplacer les opérateurs de quart dans le cas d'absence.	Matériel d'analyse, et moyens de communication, demande d'échantillons.
Gestion des stocks	Personnel de direction de gestion des stocks	Responsable de la gestion des stocks de sucre roux	Assurer la gestion des stocks de sucre roux	Établir un rapport journalier de la quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie, établir un bon de réception (nom du navire, et quantité réellement réceptionnée), etc.	Moyens de communication, demande du rapport journalier de la quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie.
		Responsable de la gestion des stocks de sucre raffiné	Assurer la gestion des stocks de sucre raffiné	Établir un rapport journalier de la quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage	Moyens de communication, demande du rapport journalier de la quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage.
		Agent de livraison	Assurer la livraison des produits.	Établir, vérifier, et transmettre les bons de livraison	Moyens de communication et de livraison, ordre de mission
Livraison et commercialisation	Personnel de direction commerciale	Agent commercial	Assurer la commercialisation des produits.	Accueillir et orienter le client et répondre à ses besoins, s'assurer de la disponibilité des produits.	Moyens de communication.
		Agent de poste de police	Contrôle des entrés et sorties de personnels et de véhicules,	Assurer le contrôle des personnes entrantes et sortantes, ainsi que de la marchandise, et des bons d'achat et de livraison.	Moyens de communication.

Livraison et commercialisation	Personnel de direction commerciale	Directeur commercial	Assurer la commercialisation des produits.	Établir un programme des ventes et une stratégie commerciale, assurer la coordination dans sa direction.	Moyens de communication.
		Clients	Acquisition de produits, acquittement de factures	Passer des commandes, acquitter des factures, etc.	Informations relatives au produit (quantité, qualité et variantes), un meilleur service, respect des engagements., moyens de communication.
	Partenaire	Fournisseurs	Assurer l'approvisionnement de l'unité	Assurer l'approvisionnement en matière première, matériel de production, matériel de maintenance, etc. Remettre le rapport d'agréage (renseignements relatifs à l'approvisionnement de sucre tels que les caractéristique physico-chimiques et le tonnage à l'emballage, etc.), encaisser les factures	Demande d'approvisionnement, moyens de communication et de paiement.
Méthodes et organisation	Personnel de bureau méthode	Chef du bureau méthode	Assurer le fonctionnement continu de l'unité du coté matériel, et la coordination au sein du bureau méthode.	Consulter les rapports des pannes et les besoins en matière de maintenance, faire des demandes d'approvisionnement en pièces de rechange, coordonner le travail des opérateurs méthodistes.	Être informé des pannes mécaniques, électriques, et automatiques, qui surviennent dans l'unité, et des besoins en matière de pièces de rechange, et de maintenance., Moyens de communication
		Méthodiste automaticien	Assurer la maintenance dans le domaine automatique	Assister les opérateurs de maintenance et noter leurs besoins dans le domaine automatique, faire un rapport de l'état des lieux et de maintenance, et des besoins envers le chef du bureau méthode	Être informé des pannes des automatismes, qui surviennent dans l'unité, des besoins, en matière de pièces de rechange, de maintenance, moyens de maintenance, et de communication, documentation relative à la maintenance des automatismes.
		Méthodiste mécanicien	Assurer la maintenance dans le domaine mécanique	Assister les opérateurs de maintenance et noter leurs besoins dans le domaine mécanique, faire un rapport de l'état des lieux, et des besoins envers le chef du bureau méthode.	Être informé des pannes mécaniques, qui surviennent dans l'unité, des besoins, en matière de pièces de rechange, et de maintenance, Moyens de maintenance, et de communication, documentation relative à la maintenance mécanique.
		Méthodiste électricien	Assurer la maintenance dans le domaine électrique	Assister les opérateurs de maintenance et noter leurs besoins dans le domaine électrique, faire un rapport de l'état des lieux, et des besoins envers le chef du bureau méthode.	Être informé des pannes électriques, qui surviennent dans l'unité, et des besoins, en matière de pièces de rechange, et de maintenance, moyens de maintenance, de communication, documentation relative à la maintenance électrique.

Annexe E : Profils des acteurs humains de l'organisation étudiée

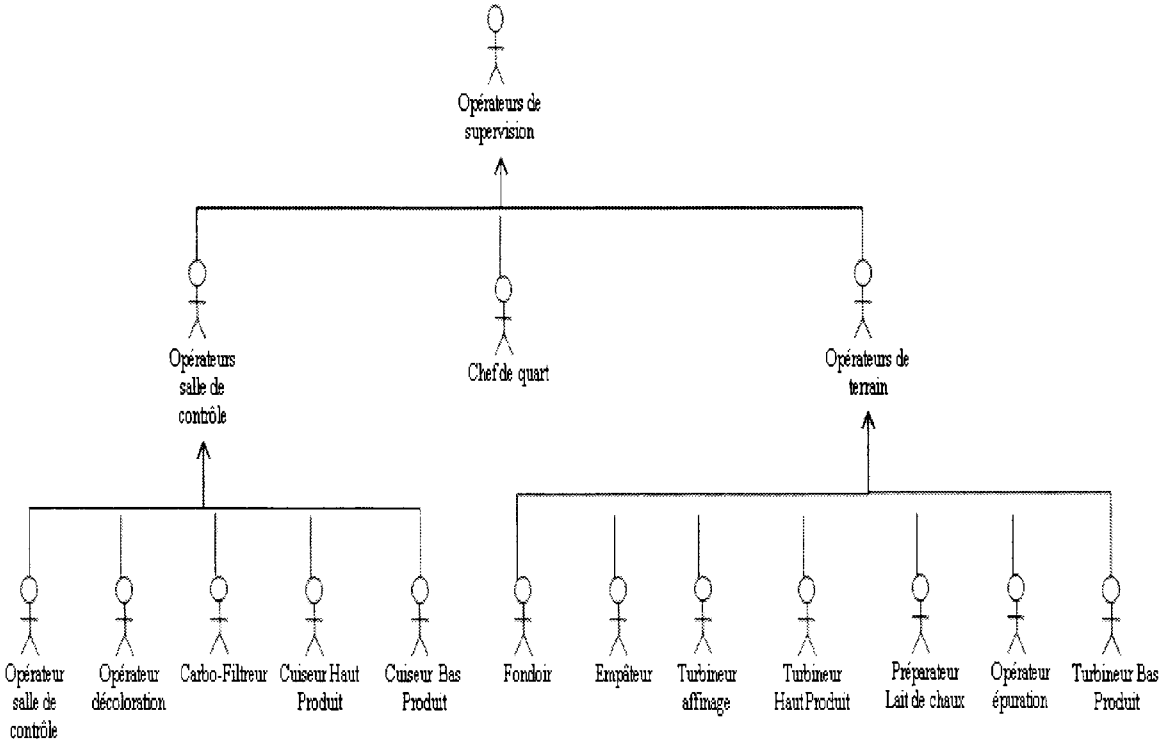

Figure E.1. Profils acteurs de supervision du process de raffinage du sucre – niveau opérationnel

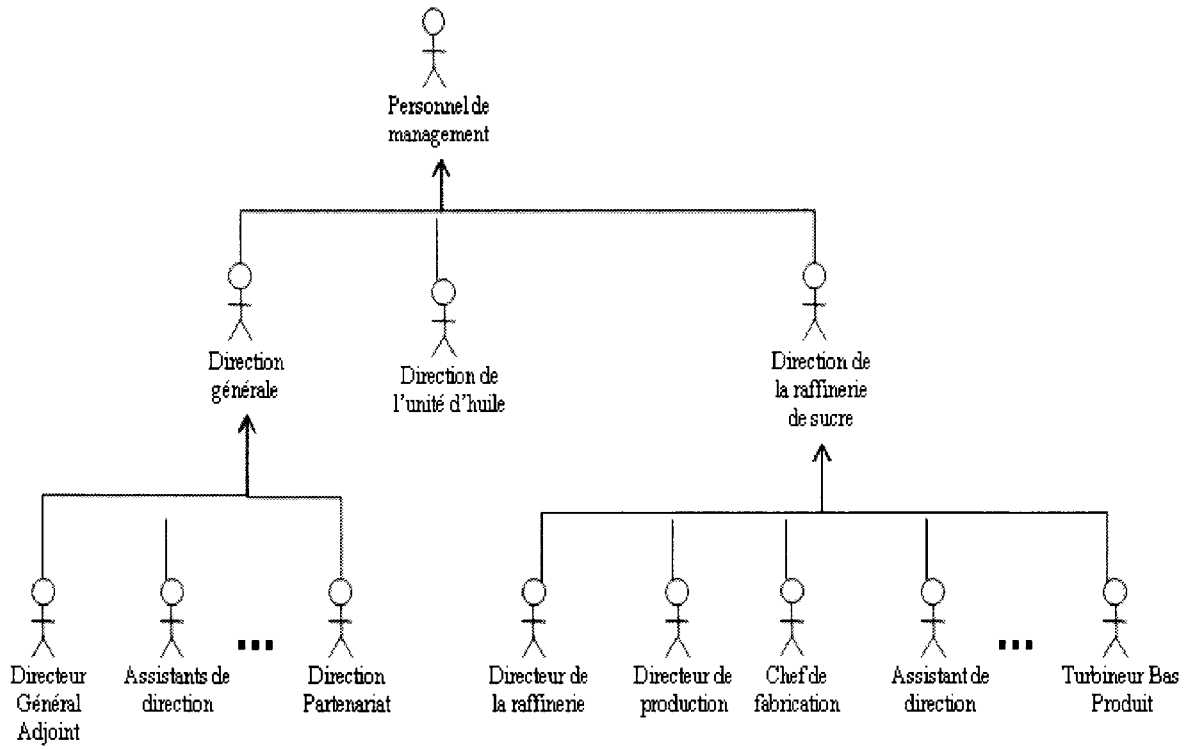

Figure E.2. Profils acteurs de supervision du process de raffinage du sucre – niveau stratégique

Acteurs humains	Sections									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chef de quart	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Opérateur de séchage							*			
Opérateur maturation										*
Opérateur épuration		*	*							
Préparateur lait de chaux		*								
Turbineur Haut Produit						*				
Turbineur Bas Produit								*		
Turbineur affinage	*									
Empâteur	*									
Fondoir	*									
Cariste	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cuiseur Haut Produit						*				
Cuiseur Bas Produit								*		
Carbo filtreur		*								
Opérateur décoloration				*						
Opérateur de salle de contrôle	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Figure E.3. Localisation des acteurs de supervision du process de raffinage du sucre

Annexe F : Différents besoins en informations échangées entre les différents opérateurs

1) Programme des ventes
2) Rapport journalier de la quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie.
3) Rapport journalier de la quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage.
4) Quantité de sirop disponible dans le bac, débit de carbonatation.
5) Débit de carbonatation
6) Pannes mécaniques.
7) Pannes électriques.
8) Pannes relatives aux automatismes.
9) Besoins, en matière de pièces de rechange, et de maintenance mécanique.
10) Besoins, en matière de pièces de rechange, et de maintenance électrique.
11) Besoins, en matière de pièces de rechange, et de maintenance relative aux automatismes.
12) Documentation relative à la maintenance mécanique.
13) Documentation relative à la maintenance électrique.
14) Documentation relative à la maintenance relatives aux automatismes.
15) Tonnage de sucre produit.
16) Informations relatives à l'état de la section supervisée (indices des capteurs, résultats du laboratoire ...).
17) Plan de production.
18) Sollicitation de régler un problème en automatique.
19) Sollicitation de régler un problème en électricité.
20) Sollicitation de régler un problème en mécanique.
21) Sollicitation d'aide ;
22) Information relative au problème en automatique.
23) Information relative au problème électrique.
24) Information relative au problème mécanique.
25) Demande d'analyse.
26) Demande d'échantillon.
27) Demande du rapport journalier de la quantité de sucre roux dans le silo, et dans la trémie.
28) Demande du rapport journalier de la quantité de sucre en cours de raffinage, et quantité de sucre raffiné dans les silos de maturation et de stockage.
29) Ordre de mission.
30) Demandes d'approvisionnement et commandes.
31) Informations relatives au produit en quantité, qualité et variantes.
32) Facture.
33) Sollicitation d'entretien et nettoyage.
34) Résultats des analyses.
35) Rapport de maintenance.
36) Demande de pièce de rechange et de maintenance.
37) Décisions
38) Choix des sacs pour l'ensachage.
39) Besoins, en matière de pièces de rechange, et de maintenance.
40) Documentation relative à la maintenance.
41) Sollicitation de régler un problème.
42) Demande de matériel d'entretien.
43) Pannes.
44) Rapport d'agréage (renseignements concernant l'approvisionnement de sucre tels que : les caractéristiques physico-chimiques, le tonnage à l'emballage...)
45) Bon d'achat
46) Bon de livraison
47) Nouveaux réglages, nouvelles données
48) Manuel de qualité
49) Normes d'hygiène et propreté
50) Bon de réception (nom du navire, et quantité réellement réceptionnée)
51) Bulletin d'analyse contradictoire
52) Registre de salle de contrôle
53) Fiche de poste

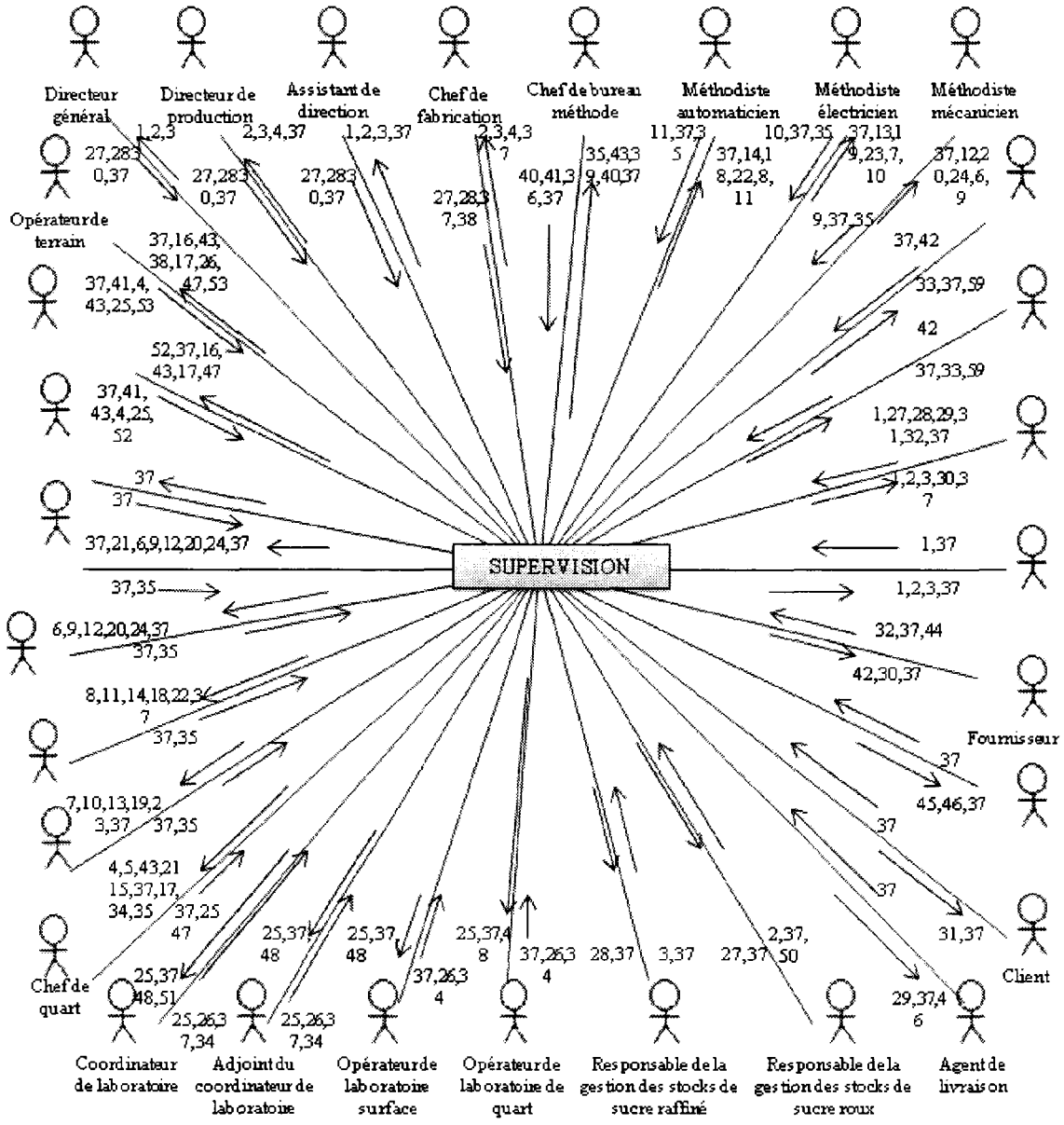

Figure F. 1. Vue globale des échanges d'informations et interaction entre différents acteurs humains de l'organisation étudiée

Annexe G : Expression de besoins métier en termes de services dans l'organisation étudiée

catégories de services	Acteurs métier	Services de haut niveau	Scénarios
Services relatifs au management	Directeur général	Administrer et visualiser toutes les informations pertinentes et relatives à la gestion et au management de l'organisation	Le directeur général peut avoir accès et visualiser toutes les informations relatives au management de l'entreprise telle que les tableaux de bord, rapports ; il peut aussi accéder et partager des informations avec quelques partenaires autorisés, etc.
	Partenaires authorisés	Accéder et visualise certaines informations autorisées	
Services relatifs au fournisseur (services disponibles côté fournisseurs)	Fournisseur	Approvisionner et livrer le sucre roux	Le sucre roux est transporté et livré par un fournisseur et stocké dans des silos de sucre de l'entreprise,
Services relatives à la livraison et commercialisation	Gestionnaire des stocks	Accéder, visualiser et gérer toutes les informations pertinentes relatives à la gestion des stocks	Des clients enregistrés et autorisés peuvent accéder et placer des commandes, suivre l'état de leur commande et leur livraison en ligne. Le directeur commercial interagit avec des clients autorisés pour préparer, éditer des contrats de vente, accédant ainsi aux mêmes documents et informations. Le directeur commercial et le gestionnaire des stocks peuvent interagir, accéder et partager une même vue de certaines informations.
		Accéder, visualiser, partager certaines informations concernant le processus de commercialisation et de livraison	
	Directeur commercial	Accéder, visualiser, partager toutes les informations concernant le processus de commercialisation et de livraison	
		Préparer, éditer différents contrats, etc.	
Services relatifs à la clientèle	Clients autorisés	Accéder, placer commandes, visualiser et suivre l'état de la commande et de la livraison, etc.	
Services relatifs à la supervision de process en salle de contrôle	Superviseur en chef	Administrer, visualiser les synoptiques de toutes les sections de la raffinerie, informer des opérateurs en charge de la supervision de process particuliers, etc.	Le superviseur en chef peut informer des opérateurs en charge du process dans toutes les sections de la raffinerie du sucre afin d'engager un autre cycle de production ; Il peut aussi administrer et visualiser tous les synoptiques de toutes les sections. Un profil particulier d'opérateurs peut seulement accéder et visualiser une section particulière tel que le carbo filtreur dans la section 2.
	Opérateurs en salle de contrôle	Visualiser, accéder aux synoptiques des sections (ex. section 2), etc.	
	Profil particulier d'opérateurs	Accéder et visualiser les informations relatives à certaines sections.	

	Opérateur de carbo filtration	Augmenter le débit de dioxide de carbone dans la section 2	
Services relatifs au laboratoire d'analyses	Technicien de laboratoire	Analyser les caractéristiques physico-chimiques d'un échantillon de sucre roux	Le laboratoire de l'entreprise procède à quelques analyses d'échantillons de sucre roux extraits de silos avant le début du cycle de production. Le technicien de laboratoire analyse l'échantillon, prépare, édite et transmet les résultats au coordinateur du laboratoire. Le coordinateur de laboratoire visualise étudie et valide les résultats, les transmet au superviseur en chef dans la salle de contrôle pour engager le raffinage du sucre roux. Toutes les informations détaillées de l'analyse sont transmises et peuvent être visualisées sous divers formats par différents acteurs autorisés avec des profils particuliers dans le laboratoire et la salle de contrôle.
	Coordinateur de laboratoire	Demander l'extraction d'échantillon et l'analyser dans la section 2	
		Analyser un échantillon de sucre transformé, transmettre les résultats au laboratoire et à la sale de contrôle	
		Préparer, éditer et transmettre un bulletin et rapport d'analyses	
	Assistant coordinateur de laboratoire	Préparer, éditer et transmettre un bulletin et rapport d'analyses	
Services relatifs section #2	Opérateur de terrain	Analyser des échantillons de sucre en transformation, transmettre les résultats au laboratoire	Sur requête du coordinateur du laboratoire, l'opérateur de terrain dans la section 2 procède à l'analyse d'échantillon de sucre en transformation les résultats sont transmis au laboratoire pour vérifier l'état courant du produit en transformation, les résultats sont aussi rendu disponibles pour la salle de contrôle. L'échange d'information et de communication sont engagés entre les opérateurs en salle de contrôle et les opérateurs dans le laboratoire. En fonction des résultats, le superviseur en chef décide de prendre des actions et décisions adéquates en conséquence.
	Préparateur Lait de chaux	Surveiller la préparation du lait de chaux	
	Opérateur de purification	Prendre des mesures d'alcalinité d'échantillons de sucre, ajuster les valeurs des PH	
	Opéateur d'astreinte	Superviser, coordonner, communiqué, etc.	
Etc.			

Résumé

Ce mémoire contribue au domaine de l'interaction homme-machine (IHM), en proposant un cadre méthodologique global en vue de la spécification de systèmes interactifs de supervision avancée, pouvant aller jusqu'à la e-supervision. La supervision est vue au sens large en étudiant les besoins des différents acteurs d'une organisation complexe, vis-à-vis de l'exploitation de nouvelles technologies. Ce cadre s'appuie sur un ensemble de méthodes et modèles issus du GL et de l'IHM d'une part, des technologies du web et de la gestion des processus métier d'autre part. Pour ce qui est des technologies du web, l'accent est mis sur les services web et l'architecture orientée services. Dans ce cadre, nous mettons en avant les différentes étapes du processus complet tout en focalisant sur les premières étapes allant jusqu'à la spécification du système interactif, et en tenant compte des spécificités et de l'apport potentiel des services web.

Le cadre proposé a été appliqué en vue de démontrer ou valider les principes fondateurs sur une étude de cas complexe représentative, relative à la supervision avancée d'un procédé industriel d'une raffinerie de sucre d'un groupe agro-alimentaire situé en Algérie.

Les perspectives de recherche visent notamment l'amélioration et l'extensibilité de l'approche proposée. Il s'avère que différents défis et nouvelles problématiques s'offrent aux équipes projet concernant la conception et l'évaluation des nouvelles IHM de supervision dite avancée.

Mots clés : Interaction Homme-Machine, supervision industrielle, e-supervision, conception, spécification, technologies du web, services web, architecture orientée services, modèles de développement de logiciels, processus métier, processus unifié, méthodes agiles.

Abstract

This thesis presents a contribution to the human-computer interaction (HCI) field, which consists of a proposal of a global framework towards the specification of advanced supervisory interactive systems. The supervision is taken in a broader meaning dealing with different needs of the various human actors within the complex organization faced with the new technologies. This framework is based on models and methods issued from software engineering and HCI and on web technologies and business processes as well. From web technologies point of view, emphasis is made on web services and service oriented architecture. In this framework, we highlight the different phases of a complete design process where focusing mainly on the first steps towards the interactive system specification taking into account the specificities and potential benefits of the web services.

The proposed framework has been applied in order to demonstrate or validate the founder principles on a representative complex case study relative to the advanced supervision of the sugar refinery industrial process of an agro-alimentary industrial group based in Algeria.

The research perspectives aim in particular to the enhancement and extensibility of the framework. It appeared that different challenges and new design issues are offered to project team members regarding the design and evaluation of advanced supervisory HMI.

Keywords: Human-Computer Interaction, industrial supervision, e-supervision, design, specification, web technologies, web services, service oriented architecture, software development models, business process, unified process, agile methods.