

the 20 000 574

50376

1999

383

N° d'Ordre :

THESE

Présentée à
L'Université des Sciences et Technologies de LILLE



En vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

Spécialité
Productique : Automatique et Informatique Industrielle

Par

FABRICE VIENNE

CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE INTERFACE ADAPTATIVE POUR LA TÉLÉOPÉRATION

Soutenu le 4 novembre 1999 devant le jury d'examen

Rapporteurs : F. CHAVAND, Professeur à l'Université d'Evry Val d'Essonne
C. KOLSKI, Professeur à l'Université de Valenciennes et du
Hainaut Cambrésis

Examineurs : A.M. JOLLY-DESODT, Professeur à l'E.N.S.A.I.T.
D. JOLLY, Professeur à l'Université d'Artois
P. GRAVEZ, Docteur ingénieur au C.E.A.
S. MAUCHE, Professeur à l' U.S.T.L.

Membre invité : P. VIDAL, Professeur des Universités

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE 11

1.TÉLÉOPÉRATION ET BESOINS EN INTERFAÇAGE 13

1.1. Concepts et définitions 13

- 1.1.1. Les définitions 13
- 1.1.2. Intérêt de la téléopération par rapport à la robotique..... 16
- 1.1.3. Les problèmes inhérents à la téléopération 17
- 1.1.4. Les domaines d'application 18

1.2. Genèse..... 21

- 1.2.1. Site de téléopération mécanique 22
- 1.2.2. La classification des télémanipulateurs et l'évolution de la complexité des interfaces 22

1.3. L'époque de la Téléopération Assistée par Ordinateur 23

- 1.3.1. Site de Téléopération Assistée par Ordinateur 24
- 1.3.2. Le calculateur, substitut de l'opérateur humain 25
- 1.3.3. Le calculateur, outil de traitement d'informations dédiées à l'utilisateur..... 25

1.4. Les axes de recherche 25

- 1.4.1. « Telesensing » 26
- 1.4.2. Teleactuating 27
- 1.4.3. Commande de supervision assistée par ordinateur 28
- 1.4.4. Interactions entre l'ordinateur, l'opérateur, le téléopérateur et la tâche. 30

1.5. Spécifications en interfaçage..... 30

- 1.5.1. Les problèmes actuels..... 30
- 1.5.2. Les solutions envisagées 31

RÉFÉRENCES 34

2.CONCEPTS D'INTERFACES INTELLIGENTES ET CRITÈRES ERGONOMIQUES POUR LEUR CONCEPTION..... 39

2.1. Les interfaces homme-machine dites intelligentes 39

- 2.1.1. Modèle de SEEHEIM 39
- 2.1.2. Interface flexible 40
- 2.1.3. Interface tolérante aux erreurs humaines. 41
- 2.1.4. Interface adaptative..... 41
- 2.1.5. Opérateur assistant 42
- 2.1.6. L'interface vue comme un agent intelligent 43
- 2.1.7. Les autres interfaces..... 44

2.2. Critères ergonomiques en conception d'interfaces 45

- 2.2.1. Critères ergonomiques selon BASTIEN et SCAPIN. 46
 - 2.2.1.1. Guidage..... 46
 - 2.2.1.2. Charge de Travail 46
 - 2.2.1.3. Contrôle Explicite 48
 - 2.2.1.4. Adaptabilité 48
 - 2.2.1.5. Gestion des Erreurs..... 49
 - 2.2.1.6. Homogénéité / Cohérence..... 49
 - 2.2.1.7. Signifiante des Codes et Dénominations 49
-

2.2.1.8. Compatibilité	49
2.2.2. Critères ergonomiques selon BALZERT	50
2.2.2.1. Acceptabilité	50
2.2.2.2. Développement de la personnalité	50
2.2.3. Critères ergonomiques selon COUTAZ	51
2.2.3.1. Cohérence	51
2.2.3.2. Concision	51
2.2.3.3. Retours d'Information	52
2.2.3.4. Structuration des activités	52
2.2.3.5. Flexibilité	53
2.2.4. Concepts Ergonomiques pour l'Aménagement de l'Interface Graphique Homme-Machine	53
2.2.4.1. Limites et démarches de l'opérateur en salle de contrôle	54
2.2.4.2. Concepts généraux orientés vers l'aménagement dynamique	54
2.2.4.3. Concepts ergonomiques pour l'aménagement statique de vues graphiques	55
2.2.4.3.1. Codage de l'information	55
2.2.4.3.2. L'organisation et la structuration de l'information	56
2.2.4.3.3. La simplification et l'allègement des vues par la diminution de la densité d'information	57
2.2.5. Technique du Fenêtrage	57
2.2.5.1. Découpage de l'écran	58
2.2.5.2. Présentation étalée	58
2.2.5.3. Présentation concentrée	58
2.2.6. Autres critères ergonomiques selon le point de vue des Opérateurs	59
2.2.6.1. Les principales causes des problèmes des opérateurs	59
2.2.6.2. Evaluation des informations	59
RÉFÉRENCES	63

3.ADAPTATIVITÉ DE L'INTERFACE 69

3.1. Interface Adaptative.....	69
3.1.1. Introduction et définitions	69
3.1.2. Intérêts des systèmes adaptatifs	71
3.1.3. Méthodes de conception	73
3.1.3.1. Modélisation de l'opérateur humain	73
3.1.3.2. Modélisation de l'interaction homme-machine	75
3.1.3.3. Modélisation de la tâche	76
3.1.3.4. Modélisation de l'application (ou modélisation du domaine)	76
3.1.3.5. Techniques de gestion d'interfaces adaptatives	77
3.1.4. Evaluation d'une interface adaptative	77
3.1.5. Domaines d'application	78
3.1.6. Recherches actuelles	79
3.2. Technique de modélisation des informations.....	79
3.2.1. Rappel sur la logique floue	80
3.2.1.1. Définition et caractéristiques d'un ensemble flou	80
3.2.1.2. Variable linguistique et proposition floue	80
3.2.1.2.1. Définition	80
3.2.1.2.2. Modificateur linguistique	81
3.2.2. Evaluation de l'opérateur	82
3.2.2.1. Définition des critères d'évaluation	82
3.2.2.1.1. Personnalité	82
3.2.2.1.2. Performance	83
3.2.2.1.3. La charge de travail	83
3.2.2.1.4. Mémoire	84
3.2.2.1.5. Critères retenus pour la modélisation de l'opérateur	85
3.2.2.2. Principales techniques d'évaluation	85
3.2.2.2.1. L'approche indirecte	85
3.2.2.2.2. L'observation	86

3.2.2.2.3. L'expérimentation.....	86
3.2.2.3. Analyse de questionnaire.....	87
3.2.2.3.1. Méthode de l'intervalle.....	87
3.2.2.3.2. Méthode du point de confiance.....	88
3.2.2.3.3. La méthode intervalle-confiance simplifiée.....	88
3.2.2.3.4. Utilisation de mesures représentées par des nombres flous.....	89
3.2.2.3.5. La méthode d'estimation multi-étages.....	89
3.2.3. Utilisation de la fusion d'informations.....	90
3.2.3.1. Méthodes classiques.....	90
3.2.3.2. Méthodes liées à un traitement non probabiliste de l'incertain.....	91
3.2.3.3. Méthodes dérivées de l'intelligence artificielle.....	91
3.2.3.4. Méthodes d'optimisation.....	91
RÉFÉRENCES.....	93

4.ADAPTATIVITÉ PAR RAPPORT À LA MISSION.....	97
4.1. Structuration de la mission.....	97
4.2. Représentation de la mission.....	98
4.2.1. Graphe multi-niveau.....	98
4.2.2. Réseaux de PETRI et SADT.....	99
4.2.3. M.A.D.(Méthode Analytique de Description des tâches).....	100
4.2.4. Structure orientée objet.....	101
4.2.5. Solution retenue.....	101
4.3. Aide à l'opérateur.....	103
4.3.1. Utilité de l'aide à l'opérateur.....	103
4.3.2. Services à intégrer.....	103
4.3.3. Caractéristiques des systèmes d'aide.....	104
4.3.4. Aide navigationnelle.....	105
4.4. Architecture de TELEMAQUE2.....	105
4.5. Représentation floue.....	108
4.6. Concepts des facteurs de sécurité et de pertinence.....	110
4.6.1. Singleton.....	110
4.6.1.1. Facteur de Sécurité.....	111
4.6.1.2. Facteur de Pertinence.....	112
4.6.2. Modélisation de l'imprécision.....	113
4.6.3. Visualisation dynamique des fonctions de pertinence et de sécurité.....	115
4.7. Vérification de la fiabilité des différents capteurs.....	118
RÉFÉRENCES.....	124

5.ADAPTATIVITE PAR RAPPORT A L'OPERATEUR.....	129
5.1. Critères d' « humanisation » de l'interface homme-machine.....	129
5.2. Modélisation de l'utilisateur.....	129
5.3. Critères de classification de l'opérateur humain.....	131
5.4. Variable linguistique.....	134

5.5. Evaluation floue	134
5.6. Modification des valeurs standards des fonctions d'appartenance par un critère d'évolution, δ	136
5.7. Modification des valeurs standards des fonctions d'appartenance par un critère de périodicité, γ ...	140
5.8. Evolution de l'état de l'opérateur humain.....	140
RÉFÉRENCES	144

**6.MISE EN ŒUVRE LOGICIELLE DU CONCEPT D'INTERFACE ADAPTATIVE :
TELEMAQUE 2 147**

6.1. Présentation.....	147
6.2. Ecran de présentation de l'interface (Ecran 1).....	148
6.3. Ecran de détermination du type d'opérateur (Ecran2).....	149
6.4. Ecran du questionnaire préliminaire (Ecran 3).....	150
6.5. Ecran de l'identification (Ecran 4).....	151
6.6. Ecran de présentation des caractéristiques de l'utilisateur (Ecran 5)	153
6.7. Ecran du choix des Scénarii (Ecran 6).....	154
6.8. Ecran Questionnaire avant chaque mission (Ecran 7)	156
6.9. Ecran de lancement de l'interface TELEMAQUE2 (Ecran 8)	157
6.10. Ecran principal de TELEMAQUE2 (Ecran 9)..... 158	
6.10.1. Actions	159
6.10.2. Menu.....	160
6.10.3. Visualisation du site esclave	161
6.10.4. Quit	162
6.10.5. Rdp	162
6.10.6. Mission	162
6.10.7. Le feux tricolore	162
6.10.8. L'Arrêt d'Urgence	163
6.10.9. Changement manuel de niveau	163
6.10.10. Aide	164
6.11. Ecran de résultat (Ecran 10).....	166
6.12. Ecran du questionnaire final (Ecran 11)	167
6.13. Méthode d'évaluation de l'interface	168

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES..... 171

RÉFÉRENCES 175

ANNEXE..... 186

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1 : MODES DE CONDUITE D'APRÈS (SHE 92).....	15
FIGURE 1.2 : TÉLÉROBOT SOUS-MARIN JASON (TIRÉ DE [SHE92]).....	18
FIGURE 1.3 : TÉLÉROBOT DE MAINTENANCE SPATIAL « RANGER » DÉVELOPPÉ PAR LA NASA.....	19
FIGURE 1.4 : PROJET DE TÉLÉOPÉRATEURS SPATIAUX.....	19
FIGURE 1.5 : EXEMPLE DE SYSTÈME DE TÉLÉCHIRURGIE DÉVELOPPÉ PAR MIT-HMSL TELESURGERY.....	20
FIGURE 1.6 : K2A NAVMASTER DÉVELOPPÉ PAR CYBERMOTION.....	20
FIGURE 1.7 : DRONE HÉLICOPTÈRE VIGILANT F 2000.....	21
FIGURE 1.8 : REPRÉSENTATION D'UN SITE DE TÉLÉOPÉRATION MÉCANIQUE (TIRÉ DE [VER 84]).....	22
FIGURE 1.9 : SCHÉMA D'UN TÉLÉMANIPULATEUR MAÎTRE-ESCLAVE MÉCANIQUE.....	23
FIGURE 1.10 : CONSTITUANTS D'UN SITE DE TÉLÉOPÉRATION.....	24
FIGURE 1.11 : AFFICHAGE PRÉDICTIF (TIRÉ DE [BEN 90]).....	29
FIGURE 2.1 : MODÈLE DE SEEHEIM.....	39
FIGURE 2.2 : CONCEPT D'INTERFACE FLEXIBLE DANS LE MODÈLE DE SEEHEIM.....	40
FIGURE 2.3 : CONCEPT D'INTERFACE TOLÉRANTE AUX ERREURS HUMAINES DANS LE MODÈLE DE SEEHEIM.....	41
FIGURE 2.4 : CONCEPT D'INTERFACE ADAPTATIVE DANS LE MODÈLE DE SEEHEIM.....	42
FIGURE 2.5 : CONCEPTS D'OPÉRATEUR ASSISTANT DANS LE MODÈLE DE SEEHEIM.....	43
FIGURE 2.6 : CONCEPTS D'AGENTS INTELLIGENTS DANS LE MODÈLE DE SEEHEIM.....	44
FIGURE 2.7 : ORGANISATION DU TYPE MULTI-FENÊTRAGES.....	56
FIGURE 2.8 : DÉCOUPAGE DE L'ÉCRAN EN DIFFÉRENTES AIRES.....	58
FIGURE 3.1 : MÉCANISME D'ADAPTATION DANS LA THÉORIE DU SYSTÈME ADAPTATIF.....	72
FIGURE 3.2 : FONCTION D'APPARTENANCE REPRÉSENTANT L'EXPRESSION « GRAND ».....	81
FIGURE 3.3 : FONCTION D'APPARTENANCE REPRÉSENTANT L'EXPRESSION « TRÈS GRAND ».....	81
FIGURE 3.4 : LA PERFORMANCE EN FONCTION DE LA CHARGE DE TRAVAIL [TIRÉ DE WAW 96].....	84
FIGURE 3.5 : MÉTHODE DE L'INTERVALLE.....	88
FIGURE 3.6 : MÉTHODE DU POINT DE CONDANCE.....	88
FIGURE 4.1 : GRAPHE MULTI-NIVEAU.....	98
FIGURE 4.2 : EXEMPLE D'UTILISATION CONJUGUÉE DE RÉSEAU DE PETRI ET SADT.....	99
FIGURE 4.3 : DESCRIPTION D'UNE TÂCHE HUMAINE DANS LE DOMAINE DU CONTRÔLE AÉRIEN [ALO 96].....	100
FIGURE 4.4 : REPRÉSENTATION DE LA STRUCTURATION DES MISSIONS POUR LE SYSTÈME TELEMAQUE 2.....	101
FIGURE 4.5 : TELEMAQUE 2 (TIRÉ DE [VIE 96A]).....	106
FIGURE 4.6 : ARCHITECTURE DE TELEMAQUE 2 EN MODE MANUEL.....	107
FIGURE 4.7 : ARCHITECTURE DE TELEMAQUE 2 EN MODE AUTOMATIQUE.....	107
FIGURE 4.8 : FUSION D'INFORMATION DE TELEMAQUE2.....	108
FIGURE 4.9 : REPRÉSENTATION DES RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTS GROUPES D'INFORMATIONS.....	109
FIGURE 4.10 : FONCTION D'APPARTENANCE REPRÉSENTANT UNE INFORMATION I PROVENANT D'UNE SOURCE S.....	110
FIGURE 4.11 : CALCUL DU FACTEUR DE SÉCURITÉ GLOBAL DE TROIS SOURCES D'INFORMATION.....	111
FIGURE 4.12 : EXEMPLE SUR LES GROUPES IM ET IP.....	112
FIGURE 4.13 : CHOIX DES INFORMATIONS PERTINENTES.....	112
FIGURE 4.14 : REPRÉSENTATION DE LA FONCTION CAPTEUR.....	113
FIGURE 4.15 : REPRÉSENTATION DU FACTEUR DE PERTINENCE AVEC UNE FONCTION CAPTEUR.....	114
FIGURE 4.16 : CALCUL DU FACTEUR DE PERTINENCE AVEC UNE FONCTION CAPTEUR.....	115
FIGURE 4.17 : REPRÉSENTATION DYNAMIQUE DE LA FONCTION DE SÉCURITÉ GLOBALE.....	115
FIGURE 4.18 : CALCUL DE LA VALEUR DE LA PENTE.....	116
FIGURE 4.19 : REPRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS SEUILS.....	117
FIGURE 4.20 : REPRÉSENTATION D'UN FENÊTRAGE FLOUE.....	117
FIGURE 5.1 : PROCESSUS DE FORMATION DE LA REPRÉSENTATION MENTALE D'APRÈS [WAN 87].....	130
FIGURE 5.2 : REPRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES CLASSES D'APPARTENANCE DE L'OPÉRATEUR HUMAIN.....	133
FIGURE 5.3 : CLASSE NOVICE.....	134
FIGURE 5.4 : CLASSE EXPERT.....	134
FIGURE 5.5 : CLASSE MOYEN.....	134
FIGURE 5.6 : REPRÉSENTATION DE LA DURÉE.....	135
FIGURE 5.7 : REPRÉSENTATION DE L'EXPÉRIENCE.....	135
FIGURE 5.8 : REPRÉSENTATION DU CRITÈRE D'APPRENTISSAGE.....	138
FIGURE 5.9 : MODIFICATION DE L'ÉCHELLE DE LA FONCTION D'APPARTENANCE.....	139

FIGURE 5.10 : EXEMPLE DE CLASSE D'APPARTENANCE	139
FIGURE 5.11 : COURBE D'ÉVOLUTION D'UN OPÉRATEUR	139
FIGURE 5.12 : REPRÉSENTATION DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT DE L'OPÉRATEUR	141
FIGURE 5.13 : CALCUL DU NIVEAU GLOBAL DE L'OPÉRATEUR	141
FIGURE 6.1 : ECRAN DE PRÉSENTATION DE L'INTERFACE	148
FIGURE 6.2 : ECRAN DE DÉTERMINATION DU TYPE D'OPÉRATEUR	149
FIGURE 6.3 : ECRAN DU QUESTIONNAIRE PRÉLIMINAIRE	150
FIGURE 6.4 : ECRAN DU QUESTIONNAIRE PRÉLIMINAIRE APRÈS MODIFICATION	151
FIGURE 6.5 : ECRAN D'IDENTIFICATION DE L'OPÉRATEUR	152
FIGURE 6.6 : ZONE DE SAISIE DU COMPTE UTILISATEUR	153
FIGURE 6.7 : ECRAN DE PRÉSENTATION DES CARACTÉRISTIQUES DE L'UTILISATEUR	153
FIGURE 6.8 : ECRAN DU CHOIX DES SCÉNARII	154
FIGURE 6.9 : SÉLECTION D'UN SCÉNARIO ET INFORMATION LE CONCERNANT	155
FIGURE 6.10 : ECRAN DU QUESTIONNAIRE D'AVANT MISSION	156
FIGURE 6.11 : ECRAN DU QUESTIONNAIRE D'AVANT MISSION APRÈS MODIFICATION	157
FIGURE 6.12 : ECRAN DE LANCEMENT DE L'APPLICATION	157
FIGURE 6.13 : ECRAN PRINCIPAL DE TELEMAQUE2	158
FIGURE 6.14 : INDICATION DE FIN DE MISSION	159
FIGURE 6.15 : INDICATION SUR L'ACTION ENTRAIN D'ÊTRE ACCOMPLIE	160
FIGURE 6.16 : BANDEAU DE MENU	160
FIGURE 6.17 : VISUALISATION DU SITE ESCLAVE	161
FIGURE 6.18 : MODIFICATION DU POINT DE VUE DU SITE ESCLAVE	162
FIGURE 6.19 : BOUTON D'ARRÊT D'URGENCE	163
FIGURE 6.20 : ECRAN DE CHOIX MANUEL DU NIVEAU DE L'OPÉRATEUR	163
FIGURE 6.21 : BOUTON D'APPEL À LA VISUALISATION DU RÉSEAU DE PETRI	164
FIGURE 6.22 : BOUTON DE L'INDEX DE L'AIDE	164
FIGURE 6.23 : FENÊTRE DE LA FONCTION INDEX DE L'AIDE	164
FIGURE 6.24 : ECRAN DE TRAVAIL EN ACTIVITÉ	165
FIGURE 6.25 : ECRAN DE RÉSULTAT	166
FIGURE 6.26 : ECRAN DU QUESTIONNAIRE FINAL	167
FIGURE 6.27 : ECRAN DU QUESTIONNAIRE FINAL APRÈS MODIFICATION	168
FIGURE A.1 : QUESTIONNAIRE PRÉLIMINAIRE	187
FIGURE A.2 : QUESTIONNAIRE AVANT LE DÉBUT DE LA MISSION	188
FIGURE A.3 : QUESTIONNAIRE APRÈS MISSION	189
FIGURE A.4 : TYPES DE MASQUE POUR L'ÉVALUATION DU RÉSULTAT	190
FIGURE A.5 : EXEMPLE D'AGGREGATION DE DEUX FONCTIONS D'APPARTENANCE	191
FIGURE A.6 : EXEMPLE DE DEFFUZIFICATION	192

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 : EVALUATION DE LA CHARGE DE TRAVAIL MENTAL (TIRÉ DE [JOR 99])	48
TABLEAU 3.1 : DIFFÉRENCES ENTRE SYSTÈMES ADAPTABLES ET ADAPTATIFS	70
TABLEAU 3.2 : MÉTHODE METRICS D'ÉVALUATION D'INTERFACE	78
TABLEAU 3.3 : EXEMPLE DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION MULTI-ÉTAGES	90
TABLEAU 5.1 : CHOIX DU MODE D'AFFICHAGE	135
TABLEAU 5.2 : EXEMPLE DE CHOIX DU TYPE DE REPRÉSENTATION	135

Introduction Générale

Les interfaces homme-machine doivent permettre à l'homme d'interagir avec un processus industriel. En effet, l'utilisateur doit être capable de savoir à tout instant ce qui se passe et d'analyser les informations fournies par le système pour pouvoir accomplir ses tâches en conséquence. Le système doit être capable d'afficher à tout instant les informations appropriées à l'opérateur. Ce besoin est la raison principale de la création des interfaces homme-machine dites adaptatives. Leur intérêt est qu'elles s'adaptent à différents facteurs comme la mission ou l'utilisateur : l'adaptativité peut être symbolisée par la modification automatique des attributs des fenêtres jusqu'à une modification des affichages des informations à l'écran.

Ainsi les interfaces homme/machine adaptatives répondent à un besoin fondamental : présenter à l'opérateur des informations pertinentes, et si possible de façon continue. Mais les informations que le système gère, proviennent de différents capteurs localisés en de nombreux emplacements du processus industriel à surveiller et contrôler. Actuellement, la tendance veut que la complexité des systèmes industriels augmente. Ce fait a comme conséquence d'augmenter le nombre et le type de capteurs présents. Cela se répercute au niveau de l'interfaçage qui doit donc, de plus en plus, gérer ce changement du flux de données. Mais les capteurs ne sont pas tous fiables : cette constatation oblige le système à filtrer puis agréger intelligemment ces données avant de les faire apparaître au niveau de l'interface homme-machine.

La téléopération fait partie de ces domaines où les informations proviennent de différentes sources. De plus, c'est un secteur où l'homme a un rôle prépondérant. Son appartenance à la boucle de commande du processus implique alors une modélisation adéquate et évolutive de l'utilisateur.

Les recherches que nous allons présenter au long de ce mémoire visent à *élaborer une interface adaptative dans le cadre de la Téléopération*. Le mémoire s'articule autour de cinq parties traitant des différents aspects théoriques sous-jacents puis de l'application mise en œuvre, TELEMAQUE 2 qui développe cette notion d'adaptativité par rapport à la mission mais aussi par rapport à son utilisateur.

Le premier chapitre initialise la problématique en présentant le domaine d'application de notre recherche, la téléopération. Après avoir défini ses différents concepts, nous précisons ses besoins particuliers pour l'interfaçage ainsi que les difficultés inhérentes.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons d'abord une taxonomie des interfaces homme-machine intelligentes pour permettre de situer l'interface adaptative par rapport aux autres évolutions possibles puis les règles les plus usitées au niveau ergonomie des interfaces homme-machine.

Au cours du troisième chapitre, nous nous focaliserons sur le concept d'interface adaptative ainsi que sur l'utilisation de la fusion d'information dans le but d'évaluer l'opérateur. Nous utiliserons pour cela les ensembles flous et la théorie des possibilités qui sont la référence pour le traitement d'informations imprécises, incertaines et subjectives. Leur avantage est la

possibilité d'intégrer des informations de différentes natures (niveaux d'abstractions différents, numérique/symbolique). Les différentes notions de logique floue qui seront utilisées dans les chapitres suivants seront expliquées.

Enfin dans les deux derniers chapitres, nous aborderons les notions d'adaptativité par rapport à la mission ainsi que par rapport à l'opérateur, ces notions étant développées dans le cadre de notre interface TELEMAQUE 2 . En effet, le concept d'adaptativité est assez large. En fait l'interface peut s'adapter à différents critères. Dans notre cas, nous en avons sélectionnés deux : la mission (le choix de l'information pertinente selon la tâche qui est accomplie) et l'opérateur (d'après le niveau d'expérience de l'opérateur dans le système).

Chapitre 1

Téléopération et besoins en interfaçage

Un système de téléopération est un système composé principalement d'un bras-maître que peut conduire un opérateur, d'un environnement où se trouve un bras-esclave qui effectue la tâche et d'une interface entre les environnements esclave et maître. L'intérêt de ce type de système homme-machine réside dans la réalisation de tâches à distance ou en milieu hostile. Il faut donc concevoir une interface homme-machine adaptée à ces exigences. Ce premier chapitre présentera la téléopération ainsi que les besoins en interfaçage qui en découlent.

1.1. Concepts et définitions

Nous commencerons par rappeler les définitions de base relatives à la téléopération. Puis nous présenterons l'avantage de la téléopération par rapport à la robotique classique et les problèmes spécifiques à ce type de système. Enfin nous indiquerons les domaines d'applications de la téléopération.

1.1.1. Les définitions

Nous donnons ci-dessous les définitions des termes associés à la téléopération les plus usités dans ce mémoire. Ils serviront ainsi de base aux explications ultérieures.

Téléopération

D'après « *Telerobotics, automation, and human supervisory control* » de Sheridan [SHE 92a], ce terme se réfère la plupart du temps à la notion d'un humain commandant de façon directe et continue un téléopérateur. La téléopération sera utilisée aussi bien dans le sens générique (opérer à distance) que dans la référence à la commande par une personne utilisant un joystick ou un système maître- esclave de contrôle.

D'après « *Teleoperation, telerobotics and telepresence : a progress report* » de Sheridan [SHE 92b], la téléopération correspond à la commande d'actionneurs et de capteurs se situant à distance.

Une autre définition serait que la téléopération soit l'extension des sensations et de la capacité de manipulation de l'homme au moyen de transfert d'informations provenant de capteurs et d'actionneurs. C'est aussi le contrôle à distance d'un robot par un opérateur humain. Cette technique est utilisée dans la robotique d'intervention pour supporter et étendre les actions de l'homme : pour travailler dans un environnement inaccessible ou hostile à l'homme ou quand l'automatisation complète est impossible à cause de la complexité d'exécution de la tâche (ouvrir une porte, couper une partie métallique, ...) et du manque de connaissance de

l'environnement de travail. Une coopération Homme/Machine améliorant la flexibilité et l'efficacité, basée sur une aide mutuelle et une supervision, est alors mise en place.

Coopération

On considère que deux entités coopèrent si elles poursuivent chacune des buts qui peuvent entrer en interaction, soit au niveau des résultats, soit au niveau des procédures. Et de plus elles doivent traiter ces interactions pour que leurs activités facilitent le travail de l'autre entité [HOC 94].

Télémanipulation

Elle est parfois utilisée comme synonyme de téléopération mais uniquement dans le cas de contrôle à distance d'un véhicule réservé à une tâche d'inspection.

D'après [VER 84], la différence entre télémanipulation et téléopération réside dans la possibilité du déplacement du système esclave.

Télérobotique

D'après « *Teleoperation, telerobotics and telepresence: a progress report* » de SHERIDAN [SHE 92b], la télérobotique est une sous-classe de la téléopération qui correspond à la commande de supervision de la part d'un humain sur des systèmes semi-automatiques à distance.

Téléopérateur

C'est la machine permettant à un opérateur humain de se déplacer, sentir et manipuler mécaniquement des objets à distance. Cette machine comporte habituellement des capteurs artificiels et des effecteurs pour la manipulation et/ou la mobilité et des moyens permettant à l'opérateur humain de communiquer.

Plus généralement, ce sont tous les outils qui étendent l'action mécanique d'une personne hors de son atteinte.

Télérobot

Pour ce type particulier de téléopération, la machine agit comme un robot pour de courtes périodes, mais est surveillée par un opérateur humain qui agit comme un superviseur. Le télérobot est lui considéré comme un archétype pour des véhicules complexes ou des processus ayant des boucles de commande automatique séparées, qui sont supervisés par un humain.

D'après SHERIDAN [SHE 92a], un télérobot est une forme avancée d'un téléopérateur supervisé par un opérateur humain, par l'intermédiaire d'un ordinateur. L'opérateur humain communique de façon intermittente les informations de l'ordinateur concernant les buts, contraintes, plans, suggestions, et ordres relatifs à la tâche à distance. Le télérobot subordonné exécute la tâche sur la base des informations reçues de l'opérateur humain complétées par sa propre perception et son intelligence artificielle.

Commande de supervision

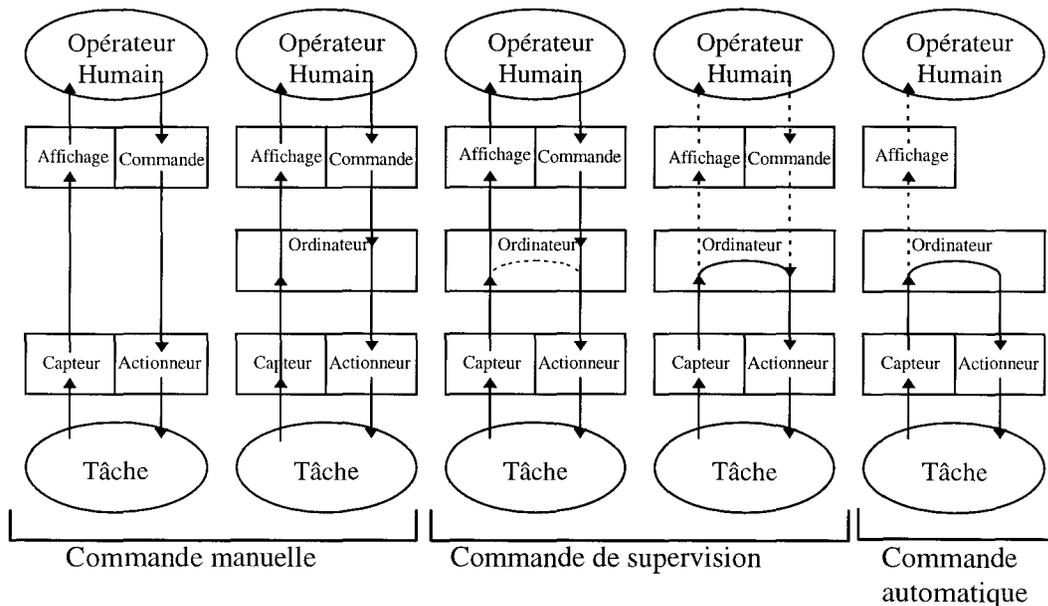
Le ou les opérateurs humains programment et reçoivent continuellement des informations provenant d'un ordinateur qui traite des données issues des capteurs situés dans l'environnement de travail du dispositif, pour pouvoir contrôler les processus et l'environnement de la tâche.

Opérateur Humain

C'est la personne qui surveille et contrôle le téléopérateur de façon manuelle ou au moyen d'une commande de supervision.

Modes de conduite en téléopération

Il y a trois modes possibles. Celui de plus bas niveau se nomme "manuel". Dans ce cas, l'opérateur est intégré à la boucle de commande au plus bas niveau de la machine. Il prend ainsi part à la génération de trajectoire. En mode automatique, l'opérateur participe à l'initialisation et la programmation du système. Il est donc intégré à un niveau plus symbolique. Le travail de l'opérateur se limitera aux fonctions de détection, décision et d'action en cas de problème durant la phase d'exécution. Dans le mode semi-automatique, le travail est partagé entre l'homme et la machine. Le partage du travail se fait spatialement par la décomposition de la commande en plusieurs fonctions élémentaires qui sont effectuées à chaque moment par l'homme ou la machine [DES 93].



- La boucle principale passe à travers l'ordinateur et la boucle secondaire à travers l'humain.
- La boucle principale passe à travers l'humain et la boucle secondaire à travers l'ordinateur.

Figure 1.1 : Modes de conduite d'après (SHE 92)

En mode automatique, l'opérateur a surtout un rôle de superviseur du système et d'intervention en cas de problème. Dans ce cas, d'autres concepts interviennent :

Vigilance

D'après [DES 95], la vigilance est la capacité à rester en alerte sur de longues périodes. C'est le critère principal à prendre en compte pour des opérations dans des situations à risque comme la chirurgie ou les interventions en milieu nucléaire. Selon [DAN 86], l'homme n'est pas par définition dans un état constant comme peut l'être un ordinateur. C'est le résultat de l'existence de rythmes biologiques (jour/nuit par exemple) et de la variation de l'état de l'opérateur suivant le travail effectué. Cette notion concerne fortement les tâches de surveillance monotone. Spérandio signale que ce terme a deux sens en ergonomie : « l'activité opérationnelle du sujet engagé dans la détection de signaux imprévisibles et de basse intensité » et « l'état d'éveil vigile, caractérisé au niveau psychologique par un niveau élevé de réceptivité par rapport aux stimulations de l'environnement ainsi que la capacité d'y répondre, et au niveau physiologique par un niveau élevé d'activité nerveuse ». Un des moyens le plus répandu pour déterminer le niveau de vigilance d'un utilisateur est l'électroencéphalogramme (EEG) [MES 94].

Surveillance

D'après [SPE 84], les principaux critères de performance permettant de caractériser une tâche de surveillance sont le nombre ou la fréquence des détections correctes ; le nombre et la fréquence des omissions, ou des fausses détections ; la valeur du seuil de détection ; la durée d'exploration avant la détection ; la localisation et la durée des fixations oculaires.

Confiance

Selon [HOC 94], la confiance de l'opérateur dans la machine peut être caractérisée par trois aspects : la foi (une confiance qui n'est pas basée sur une expérience concrète d'utilisation de la machine), la stabilité (une confiance qui s'appuie sur une compréhension du fonctionnement de la machine comme régi par des règles stables et satisfaisantes) et la prédictabilité (une confiance basée sur une expérience concrète qui laisse penser que ce qui s'est bien déroulé dans le passé devrait également bien se dérouler à l'avenir). Il faut aussi prendre en compte l'équilibre entre les notions de confiance en soi et confiance en la machine pour déterminer le mode de conduite. Des travaux sur ce thème ont été réalisés [MOR 95] [DAS 94].

Après avoir présenté les principales définitions rencontrées dans le domaine de la téléopération, nous allons spécifier ce que peut apporter cette technologie par rapport à la robotique.

1.1.2. Intérêt de la téléopération par rapport à la robotique

La capacité de garder l'homme dans la boucle de commande comme un "pilote" et un "superviseur" offre des avantages en matière de simplification, d'exécution et de sécurité. En effet, grâce à la téléopération, les humains sont capables d'exécuter efficacement de nombreuses tâches dans des environnements non structurés au contraire des robots autonomes.

Les robots autonomes ont de simples modèles internes de leur environnement qui ne doivent pas théoriquement, évoluer au cours de la mission à effectuer. Ainsi les robots suivent simplement un ensemble de mouvements préprogrammés et nécessitent relativement peu de capteurs externes pour accomplir la tâche désirée. Mais si l'environnement de travail évolue, alors cette approche programmée devient difficile et le temps d'implémentation augmente.

1.1.3. Les problèmes inhérents à la téléopération

Toute technique a ses avantages et ses inconvénients. En ce qui concerne la téléopération, nous rencontrons des problèmes d'interfaçage auxquels se rajoutent des problèmes logistiques (la distance entre le site maître et esclave) ainsi qu'une notion de sécurité que l'on retrouve au niveau de la crédibilité et la fiabilité des informations provenant du site à distance.

La crédibilité des informations

On a souvent envie d'utiliser le plus possible de capteurs et si possible de types différents pour obtenir un flux de données important, nécessaire pour faciliter la modélisation du robot et de son site de travail. Mais un problème se pose si, parmi toutes ces informations, certaines se contredisent. Cette contradiction peut être due à un problème de fiabilité d'un ou plusieurs capteurs qui ont pu se dérégler au cours de l'exécution de la tâche. Dans ce cas, on devra faire un choix entre les informations, en se demandant si on a bien choisi. Les conséquences seraient au mieux un retard dans la mission et au pire un risque de dommages techniques si la décision était mauvaise. Ce problème de fiabilité est crucial puisqu'il peut faire la différence dans la génération d'une explication crédible dans le cas d'un incident ou d'une panne. La durée de vie de capteurs dans un milieu extrême où agit le télérobot est très variable. Cette notion de robustesse des capteurs est un critère important. Il faut choisir des senseurs adaptés à la mission et au milieu.

Le manque d'informations visuelles

Le canal visuel est le moyen le plus usité pour donner l'impression à l'opérateur de se trouver à proximité du site du robot. Mais les images vidéo provenant du lieu d'exécution de la tâche ne sont pas toujours exploitables, ainsi elles peuvent être bruitées mais aussi perturbées par une forte source lumineuse (soudure à l'arc, torche à plasma). De plus ce mode d'affichage est très sensible aux problèmes techniques comme une panne du système d'éclairage ou une obturation non prévisible de l'objectif (par exemple le passage d'un banc de poissons devant la caméra d'un télérobot sous-marin). Il faut donc que le système possède un panel de capteurs de type différents pour qu'ils puissent remplacer les capteurs visuels en cas de problèmes ou de pannes. Par exemple, des capteurs de force piézoélectriques pour le retour d'effort, capteurs à aiguilles pour le retour tactile, des microphones pour le retour auditif ou un télémètre laser pour le retour d'informations proximétriques. Un autre problème lié à la restitution d'informations visuelles est la distorsion de la perception de distance et profondeur [PER 94]. En effet, dans le cas d'un télérobot mobile, la qualité de l'information visuelle restituée peut ne pas apporter suffisamment de données à son télépilote.

Le retard de Communication

La téléopération est la commande à distance d'un dispositif. Cela implique que les données provenant du site du télémanipulateur ne soient pas affichées en temps réel sur

l'écran de l'opérateur à cause du temps de transmission des informations entre les deux zones [STA 87]. Il est en général très difficile pour l'opérateur humain de contrôler un télémanipulateur si le retard entre le bras maître et le bras esclave excède 1 seconde [FRO 93]. Pour une valeur supérieure, l'utilisateur a tendance à employer une stratégie *move and wait*, c'est-à-dire bouger sur une petite distance l'effecteur (l'outil du robot) et attendre le résultat que l'action va occasionner. Mais pour une mission qui se situerait sur la surface de la lune, le retard atteindrait les 6 secondes d'où une baisse importante de la productivité de la mission.

1.1.4. Les domaines d'application

La téléopération a débuté dans le domaine nucléaire dans les années 50. Depuis, le nombre d'applications a beaucoup augmenté. La liste qui suit permet d'entrevoir où se situent maintenant les axes de développement de la téléopération.

Applications nucléaires

En France, le C.E.A. (Commissariat à l'Energie Atomique) a été le précurseur de cette technique. Les applications sont donc nombreuses [TOL]. Cela a commencé par l'installation de sites de recherches et installations pilotes (lignes blindées de recherche nucléaire, installation pilotes de retraitement des combustibles irradiés, accélérateurs de particules et réacteurs expérimentaux). Puis s'est développée une utilisation plus "industrielle" prenant en compte le concept de sécurité en milieu radioactif [THI 94], pour l'exploitation et la maintenance nucléaire industrielles (usines de retraitement de combustible irradié et maintenance dans les réacteurs nucléaires). Après la création et l'utilisation, un des domaines se trouve être le retraitement et démantèlement des installations nucléaires (retraitement de réacteurs et retraitement d'installations de génie chimique radioactif). Enfin il y a les interventions exceptionnelles (en particulier des interventions à l'intérieur des parties vives d'un réacteur).

Applications sous-marines

La téléopération donne la possibilité d'aller à des endroits où les hommes auraient des difficultés à se trouver. Le milieu sous-marin fait partie de ces endroits difficiles d'accès. Il existe des engins télécommandés à câbles (télérobot lié à un sous-marin pour saisir des éléments de fouille) ou libres.

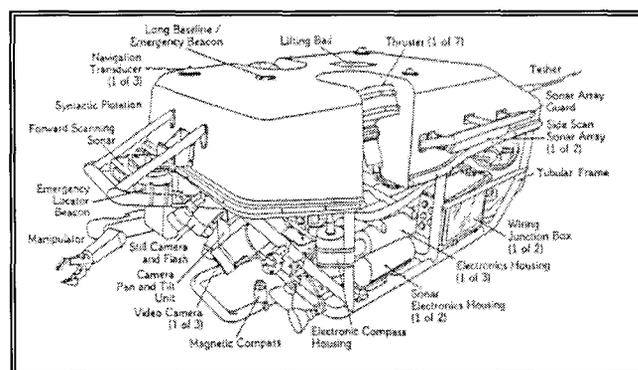


Figure 1.2 : Télérobot sous-marin Jason (tiré de [SHE92])

Ils peuvent accomplir des missions d'inspection, maintenance et construction d'installations sous-marines (industrie offshore, surveillance de pipeline, inspection des structures sous-marines). Enfin ils peuvent servir dans l'exploitation minière sous-marine (nodules polymétalliques).

Applications de la téléopération spatiale

Un autre milieu très hostile à l'homme est l'espace. La téléopération peut servir pour l'exploration planétaire et l'expérimentation. On peut aussi l'appliquer à la maintenance et la mise en service de satellites [STA 88].

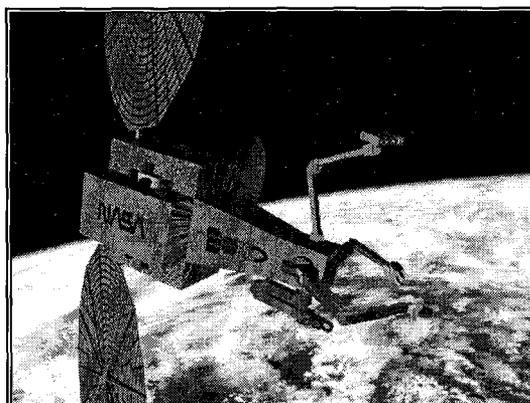


Figure 1.3 : Télérobot de maintenance spatial « Ranger » développé par la NASA

Enfin, les télérobots peuvent assembler et maintenir de très grandes stations (bras manipulateur de navette spatiale : le ROTEX [HIR 93], "flight telerobotic servicer", le « Beam Assembly Teleoperator » du Space Systems Laboratory).

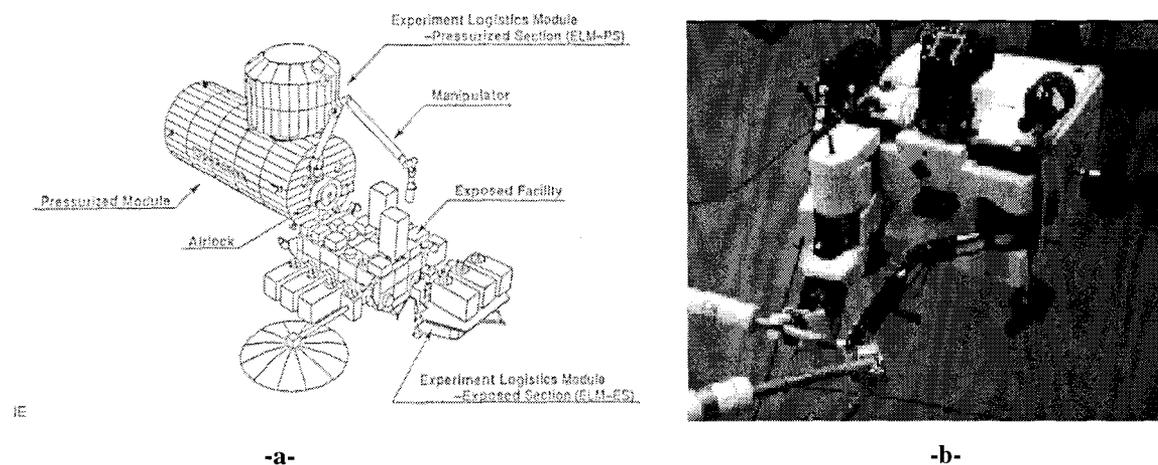


Figure 1.4 : Projet de téléopérateurs spatiaux

- a- projet japonais pour la station orbitale Freedom (tiré de [SHE 92])
- b- télérobot BAT du SSL

Applications médicales de la téléopération

La tendance actuelle est l'utilisation de la téléopération dans le milieu médical. Par raison de fiabilité, précision et "propreté", les télérobots peuvent servir à déplacer des malades. On peut également les utiliser pour l'aide aux handicapés moteurs (amputés du bras ou paraplégiques) et l'assistance à la marche. Enfin depuis quelques années, on assiste à de nombreux

développements dans le domaine de la chirurgie (endoscopie, téléchirurgie [KHE 95]). Le HMSL telesurgery du MIT a développé un système de téléchirurgie présenté au niveau de la figure 1.5.

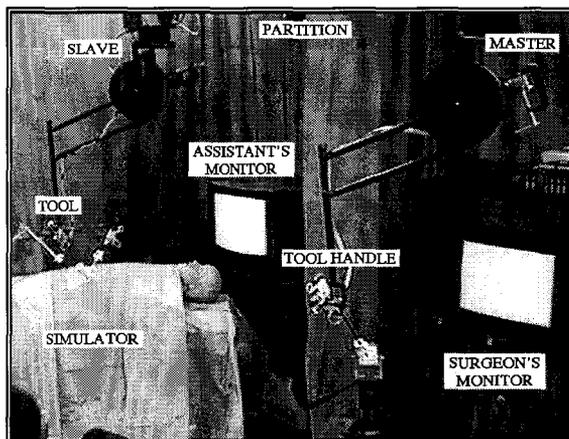


Figure 1.5 : Exemple de système de téléchirurgie développé par MIT-HMSL telesurgery

Applications industrielles de la téléopération et robotique de service

Ces applications ont pour but de remplacer l'homme dans des exercices nécessitant une grande quantité d'énergie, par exemple l'application en métallurgie-forge ou en travaux publics. On peut également les trouver dans des exploitations minières ou forestières [GRU 95]. Enfin ils peuvent également permettre une plus grande sécurité aux techniciens travaillant sur les lignes à haute tension (pose ou réparation).

Applications à la sécurité et à la protection civile

On peut remarquer une évolution de l'utilisation des télérobots vers un emploi plus proche de la population et de la protection civile. Cela concerne la lutte contre l'incendie et le sauvetage d'individu. Enfin une application très médiatique est le télérobot spécialisé dans le désamorçage de bombe. Nous avons ainsi le projet MDARS conçu par l'armée américaine dans le but de détecter des conditions anormales telles que le feu, de repérer des inturs ou enfin de déterminer les status des colis inventoriés par lecture de codes-barres. La figure 1.5 est un exemple de plateforme de ce projet.

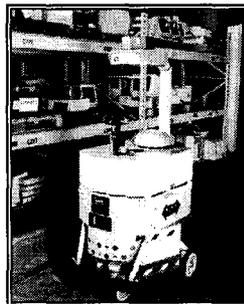


Figure 1.6 : K2A Navmaster développé par Cybermotion

Applications policières et militaires

La surveillance de zones à risque peut être effectuée par des télérobots utilisant évidemment des capteurs visuels (caméra CCD, ...). Dans la même idée, la guerre est un

terrain où l'information est la clef de toute victoire. Etre le premier à savoir, à connaître et repérer les différents objectifs est fondamental. Ainsi les télérobots peuvent être utilisés pour la surveillance de champs de bataille ou l'inspection et la désactivation de mines et autres explosifs. Enfin le développement de drones pour la reconnaissance aérienne est également une nouvelle voie d'utilisation de la téléopération.

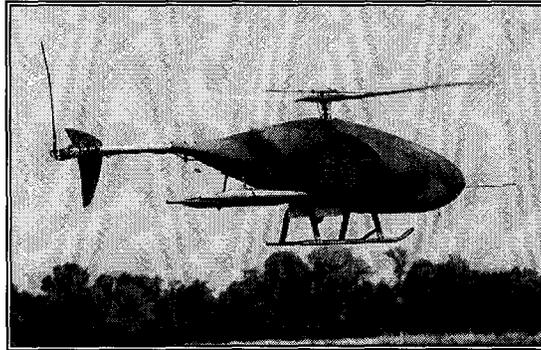


Figure 1.7 : Drone hélicoptère VIGILANT F 2000

Développé par TSI, le VIGILANT F 2000 est un hélicoptère télépiloté, de petite dimension destiné à l'observation air-surface dans un rayon de 20 km. L'opérateur bénéficie de l'assistance de l'ordinateur de bord pour la stabilisation du vol et la localisation par GPS, autorisant le vol hors vue. Cet appareil peut embarquer une charge utile de 10 kg comprenant soit une caméra CCD couleur haute définition soit une caméra bas niveau lumière, soit une caméra infra-rouge. Ces informations vidéo sont retransmises, en direct, à une station sol composée de deux ordinateurs, d'un pupitre de pilotage et de trois écrans de visualisation (contrôle, paramètres de vol, cartographie).

Après avoir montré les concepts et les applications de la téléopération, nous allons maintenant présenter l'historique de cette technique afin de mettre en évidence l'évolution des stratégies d'interfaçage.

1.2. Genèse

La téléopération doit son évolution à la recherche nucléaire. Afin de manipuler les substances radioactives sans irradier l'opérateur, la pince à distance déjà connue était cette fois montée sur une rotule traversant un blindage. Une vitre bien placée permettait de voir le travail. En 1948 était réalisé aux Etats-Unis le premier télémanipulateur mécanique qui est l'ancêtre de toute la famille des manipulateurs dits "maître-esclave". Ce prototype permet à la pince située côté esclave de reproduire rigoureusement tous les mouvements imprimés par la main de l'opérateur à la poignée. Après une période de prototypes américains, on vit le premier modèle industriel de manipulateurs "maître-esclave" mécanique en 1954.

Les technologies s'améliorèrent avec le temps. En 1954, on trouve le premier manipulateur sur véhicule. En 1958, le télémanipulateur est asservi avec retour d'efforts. En 1965, on utilise la télévision pour apercevoir le site de travail du télémanipulateur. En 1965 sont aussi développés les premiers capteurs d'effort. Enfin en 1969 le premier télémanipulateur à asservissement sans retour d'efforts est construit.

En France, les premiers manipulateurs "maître-esclave" mécaniques furent construits dès 1956. Les efforts se sont concentrés sur les manipulateurs à asservissements et retour d'efforts dont le développement a été initialisé par J. Vertut en 1972 aboutissant au manipulateur

MA22 et à la famille MA23, au véhicule expérimental VIRGULE (Véhicule d'Intervention Radioguidé Utilisable en Laboratoire et à l'Extérieur).

1.2.1. Site de téléopération mécanique

Dans la téléopération mécanique, un système téléopéré est composé de deux sites. L'opérateur se situe au niveau du premier et le télémanipulateur sur le second. Entre les deux se trouvent des dispositifs mécaniques et électriques. Ce système oblige l'opérateur à être constamment en mode manuel. Il actionne alors le bras esclave via le bras maître pour accomplir la tâche à réaliser.

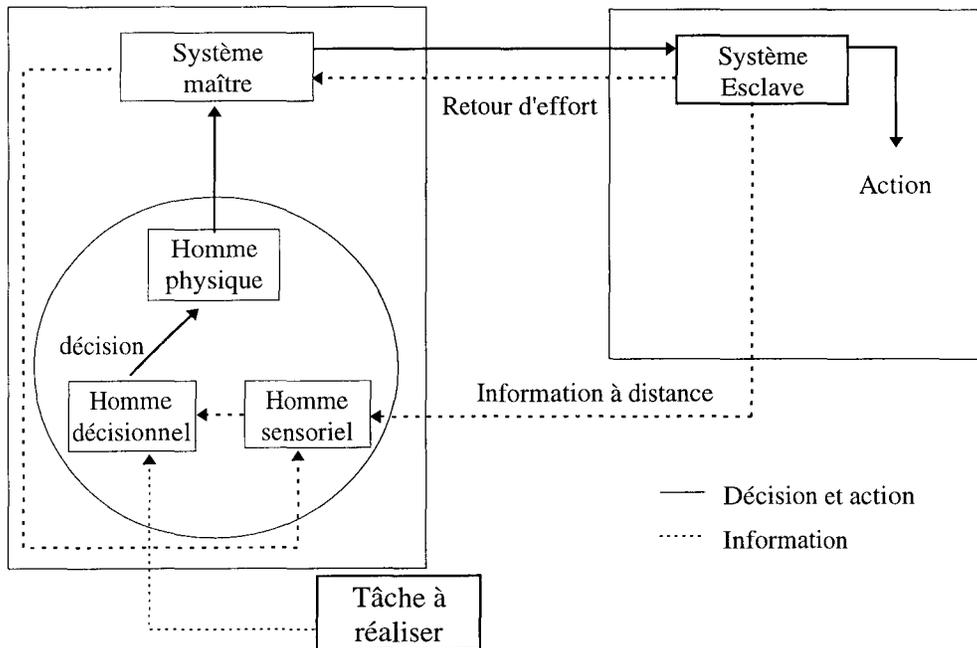


Figure 1.8 : Représentation d'un site de téléopération mécanique (tiré de [VER 84])

Au niveau de ce schéma, l'opérateur est décomposé en trois éléments. Ainsi nous trouvons tout d'abord l'« homme sensoriel » qui saisie les informations à partir directement du site esclave ou via le système maître pour le retour d'effort. Il y a ensuite l'« homme décisionnel » qui analyse les informations fournies et qui en déduit une marche à suivre. C'est cette décision qui sera appliquée par l'« homme physique » par l'intermédiaire du système maître.

1.2.2. La classification des télémanipulateurs et l'évolution de la complexité des interfaces

Nous allons présenter maintenant une taxonomie des télémanipulateurs classés selon des critères qui peuvent être leurs moyens de commande ou leurs positions historiques.

Télémanipulateur maître-esclave mécanique

Il est utilisé essentiellement dans le domaine nucléaire où il permet un travail précis derrière un blindage.

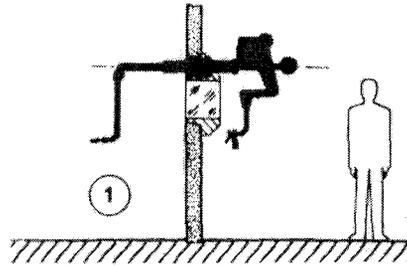


Figure 1.9 : Schéma d'un télémanipulateur maître-esclave mécanique

C'est une machine simple permettant de reproduire les mouvements réalisés par la main de l'opérateur qui tient une poignée. Cette poignée et la pince à l'autre extrémité du manipulateur sont reliées mécaniquement et de façon réversible (ou bilatérale). L'interface est dans ce cas réduite au hublot à travers lequel l'opérateur humain exécute la mission.

Télémanipulateur motorisé à asservissement unilatéral

Contrairement aux télémanipulateurs précédents avec lesquels le retour d'effort se faisait au niveau de l'homme serrant la poignée, ce nouveau type de manipulateur ne présente aucune réaction venant de l'environnement de travail de la tâche à accomplir. La liaison entre l'homme et le manipulateur n'est plus mécanique mais électrique. La particularité de ce télémanipulateur est qu'il est fixé à un porteur intermédiaire qui peut se déplacer sur plus d'un degré de liberté.

Manipulateur à asservissement bilatéral

Dans leur grande majorité, ces manipulateurs à asservissement électrique et retour d'efforts comportent un bras maître et un bras esclave de géométrie identique ou homothétique. Quelques exosquelettes ont le bras de commande ou bras maître différent du bras esclave, ceci implique une architecture du bras esclave comparable à celle du bras humain comportant sept degrés de liberté plus le serrage de la pince. Tous ces manipulateurs sont le plus souvent des modèles totalement articulés ne comportant pas de mouvement télescopique. En remplaçant la liaison mécanique entre le bras maître et esclave par une liaison électrique (câble ou radio), la distance entre les deux univers peut s'agrandir. Cela implique alors la prise en compte de la notion de retard dans toute réalisation de mission. Dans ces conditions, l'homme ne peut plus toujours prélever directement les informations par vision directe, ni recevoir de retour d'efforts par les liaisons mécaniques désormais absentes. L'interface pourrait être ici la télévision affichant les images provenant des caméras situées sur le site esclave.

Mais les techniques évoluent et la téléopération s'est aussi améliorée. Nous sommes donc passé de l'ère mécanique/électrique à l'ère informatique. Le terme téléopération a été remplacé par TAO, la Téléopération Assistée par Ordinateur que nous présentons maintenant.

1.3. L'époque de la Téléopération Assistée par Ordinateur

En téléopération classique, l'homme fait tout. Il connaît la tâche à réaliser, son avancement, et élabore en permanence une stratégie d'action afin de la faire progresser. De plus, il apporte l'énergie mécanique nécessaire à la réalisation de la tâche et celle dissipée à cause des défauts.

L'asservissement bilatéral grâce au retour d'efforts divise l'effort réalisé par l'opérateur donc sa fatigue. Le cas idéal serait que l'homme ait l'impression de réaliser l'opération de ses propres mains et non en manoeuvrant des organes lointains. L'opérateur serait en télé symbiose avec le milieu hostile.

L'informatique permet de se rapprocher de ce cas en soulageant sérieusement l'opérateur dans sa charge de travail. Les tâches réalisées en téléopération étant complexes, le système informatisé ne peut remplacer complètement l'opérateur humain, mais le calculateur est là pour améliorer les performances et il est conçu comme une aide, une assistance à toutes les entités du système [GRA 88].

1.3.1. Site de Téléopération Assistée par Ordinateur

Par définition, un site de téléopération assistée par ordinateur se compose de trois univers. Le premier est l'univers maître. Il se situe à l'endroit où se trouve l'opérateur humain et comporte les dispositifs de restitution de l'information, c'est-à-dire l'interface homme-machine, ainsi que des moyens de télécommande. Le second se nomme univers esclave. C'est là que se trouve le télérobot ainsi que l'ensemble des capteurs disponibles sur le site de travail du téléopérateur. Enfin, le troisième univers, « univers X », permet la jonction entre les deux autres univers et se compose d'un système informatique qui gère les informations bidirectionnelles.

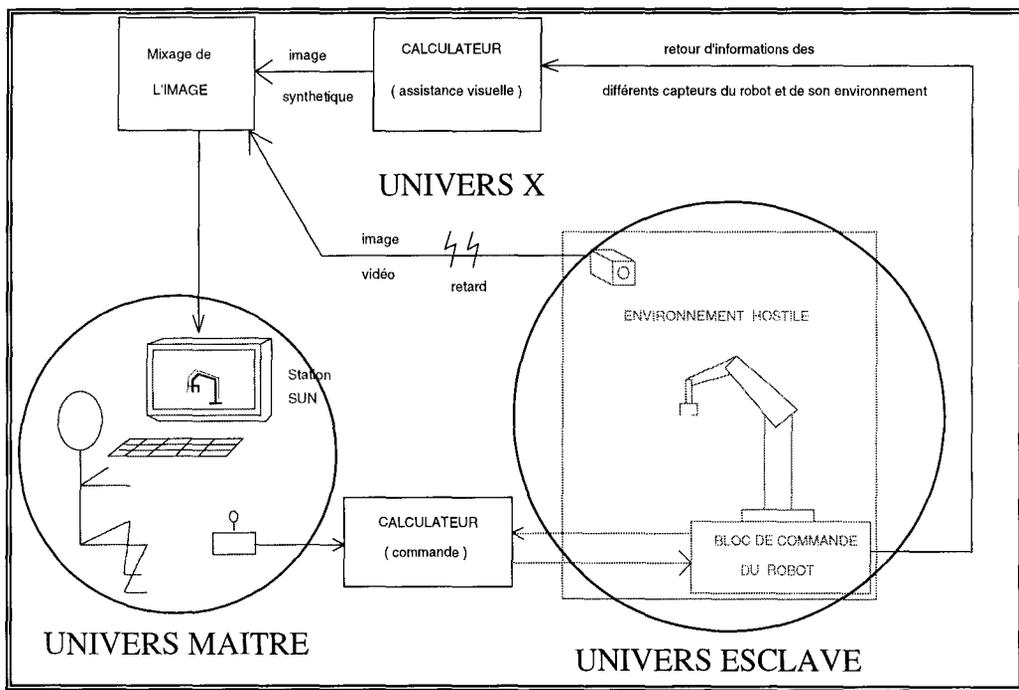


Figure 1.10 : Constituants d'un site de téléopération

La figure 1.3 présente les différents univers d'un site de téléopération assistée par ordinateur. Les univers esclave et maître y sont représentés par des cercles. Ainsi tout élément extérieur à ces deux zones appartient à l'univers X. Celui-ci se compose essentiellement de calculateurs permettant le traitement des informations provenant du site esclave et le traitement des ordres provenant de l'univers maître.

1.3.2. Le calculateur, substitut de l'opérateur humain

Le calculateur peut se substituer à l'opérateur humain « selon trois axes ». Il peut ainsi tout d'abord éliminer complètement l'homme de la boucle de commande. On se trouve alors dans le mode automatique. C'est à dire que le système gère le télérobot comme s'il agissait en véritable robot autonome. Cette automatisation de certaines tâches a pour but d'augmenter la productivité en évitant à l'opérateur d'agir ou de gérer des tâches répétitives ne demandant pas de surveillance spécifique. Pour ce faire, il faut que le site esclave soit composé des capteurs indispensables à la bonne exécution des tâches et que la connaissance des actions à accomplir pour les réaliser soit parfaite. Un exemple pourrait être la préhension d'un objet par l'effecteur en utilisant des capteurs de pression, de couple et de proximité.

La deuxième substitution possible est le couplage des actions du système avec celles effectuées par l'opérateur humain. Par exemple, une des caméras du site esclave sera commandée par le système pour qu'elle suive l'action qu'accomplit l'opérateur.

Enfin le calculateur peut intervenir dans la modification de l'amplitude des transmissions maître-esclave du mouvement ou des efforts. A la différence de la télémanipulation classique où le rapport entre les mouvements du bras maître et esclave est fixe, le calculateur peut ici amplifier ou réduire le ratio entre les deux entités. Cela permet ainsi à l'opérateur de s'adapter à l'action à accomplir. Ainsi si par exemple, l'opérateur humain doit accomplir la préhension d'un objet, le rapport sera inférieur à celui qui permet à l'opérateur d'exécuter de grands mouvements au niveau du bras esclave même si la restitution les transforme en mouvements de faible amplitude au niveau du bras esclave.

1.3.3. Le calculateur, outil de traitement d'informations dédiées à l'utilisateur

L'autre utilisation du calculateur se situe au niveau du traitement de l'information provenant des différents capteurs du site esclave. A l'époque précédente, le peu d'information existant était restitué tel quel. Maintenant, l'information est filtrée, vérifiée et choisie selon les actions à accomplir. Les informations transmises au calculateur peuvent se regrouper en trois catégories. D'abord celles concernant la tâche en train d'être accomplie. Cela peut être le capteur de pression de l'effecteur dans le cas d'une action de préhension. On peut également avoir les informations spécifiant l'état de l'environnement de travail permettant de vérifier la bonne sécurité de la mission par exemple. Enfin il y a l'état des ressources, cela comprend l'état du bras-maître, du bras esclave ainsi que du calculateur (capteurs compris).

En résumé, l'apport de l'informatique a permis la répartition des tâches entre le système et le calculateur ainsi qu'une augmentation de la quantité d'information à gérer permettant au site esclave de s'éloigner de plus en plus du site maître.

1.4. Les axes de recherche

Nous allons présenter maintenant les différents axes de recherche actuels en téléopération. Ils sont regroupés en quatre domaines. Le « telesensing » développe la notion de téléprésence. Le « teleactuating » actualise les moyens de commande manuelle d'un site de téléopération. Enfin, les domaines concernant les commandes de supervision assistée par ordinateur et sur les interactions entre l'opérateur et le système complètent ces travaux.

1.4.1. « Telesensing »

Ce terme englobe tous les canaux informationnels nécessaires pour mettre en oeuvre le concept de téléprésence. On y retrouve donc les informations visuelles, tactiles, proprioceptives, proximétriques ainsi que le retour d'effort et la "kinesthésie". Il est indispensable de savoir comment fonctionne l'être humain pour pouvoir en déduire quelles informations doivent lui être envoyées et sous quelle forme.

Nous pouvons classer les retours d'informations en deux catégories. Tout d'abord ceux qui sont conditionnés par les actions de l'opérateur : il a donc besoin de connaître ces valeurs avant d'envoyer ses ordres au télérobot. On peut utiliser pour cela des modèles prédictifs. Cela peut être par exemple le retour d'effort dans une tâche d'assemblage ou le retour visuel dans le cas d'une planification de trajectoire. La deuxième catégorie comporte les retours d'informations qui ne sont pas conditionnés par les actions de l'opérateur. Le retour est seulement nécessaire à la continuité de l'action. Cela peut-être un retour auditif du site esclave ou un retour visuel de lieu où l'action ne se déroule pas [KHE 98].

Retour visuel

Le canal visuel est le sens le plus utilisé. Il apparaît donc logique que la plupart des recherches et des développements le concernent. Mais le problème le plus complexe se trouve être la perception de la profondeur de l'image [MAL 92]. Puisque la plupart des missions de téléopération comportent des mouvements selon les trois axes, cette perception permet d'augmenter la compréhension de l'exécution de la mission et donc améliore la performance dans le cas d'une télémanipulation. On utilise donc des méthodes de programmation d'informatique graphique (ombres, surfaces cachés,...) ou des matériels fournissant une sensation de stéréoscopie (par exemple en utilisant des lunettes à obturation). Enfin il est aussi possible d'utiliser une superposition d'informations graphiques et textuelles à l'image vidéo de l'environnement esclave comme une grille en vue isométrique pour donner la sensation de profondeur. Cela peut aussi consister à améliorer le retour visuel qui peut être dégradé, comme par exemple en milieu sous-marin [MAL 90]. Nous trouvons aussi dans ce groupe la reconstruction d'environnement graphique dans le cas de sous-information (par exemple dans le cas d'incident en milieu nucléaire [EVE 89]) mais aussi le concept de réalité augmentée par la superposition d'images synthétiques enrichissant l'image vidéo [RAS 99][CHA 98].

Retour d'effort

Cette information est indispensable dans toute action mettant en jeu de la force et du couple au niveau du poignet du télérobot [AND]. On l'utilise donc dans la régulation d'effort ou des stratégies d'assemblage. L'autre intérêt est son utilisation pour la précision du geste de l'opérateur. Le problème du retard est donc crucial à ce niveau puisque ces actions sont rapides, précises et nécessitent d'avoir les informations le plus rapidement possible pour éviter les incidents qui pourraient entraîner la détérioration de l'effecteur du télérobot ou des différentes pièces de l'assemblage.

Retour tactile

Il réfère à la sensation de différence de pression sur la peau permettant de reconnaître des motifs de matière. La peau a des difficultés dans la mesure de la force appliquée mais elle

s'adapte rapidement. Le problème actuel des instruments de restitution du toucher est leur résolution trop faible par rapport à celle de la peau. On développe donc actuellement des techniques basées sur l'optique pour pallier ce problème.

Kinesthésie et proprioception

Même si elles ont des significations très proches, on peut différencier ces deux notions de la façon suivante. La kinesthésie est le sens du mouvement. La proprioception est la conscience de la position des membres dans l'espace. Ces deux notions sont importantes en téléopération puisque l'opérateur perd facilement tout repère et il peut donc se passer un temps critique entre le moment de la perte de référence et le retour à la conscience du référentiel. Ce problème se complique bien évidemment si la restitution visuelle ne prend pas en compte l'aspect dimensionnel. On développe donc différents moyens pour y remédier comme l'utilisation de vues multiples, de vue panoramique ainsi que de génération d'images de synthèse.

Capteur de proximité

On peut mesurer la proximité par différents types de capteurs. Les plus communs sont les télémètres laser et ultrasonore. Ils permettent les actions telles que l'évitement d'obstacles, l'approche d'objets, le suivi de surface ou la recherche d'objet entre autres. Ces informations peuvent être apportées à l'opérateur humain sous la forme d'affichage graphique ou sonore s'il y a surcharge visuelle (synthèse vocale,...).

Téléprésence

L'ensemble des axes de recherche précédents a pour but de développer la technique de téléprésence. En effet, pour une télémanipulation manuelle directe ou pour la supervision d'un télérobot semi-autonome [HAL 94], il est très utile de ressentir l'environnement de travail comme si on était à la place du télérobot [FIS 93]. Cela nécessite un anthropomorphisme du télémanipulateur. On utilise pour cela des outils de la réalité virtuelle qui amplifient le phénomène [STO 92].

1.4.2. Teleactuating

Les données provenant du site esclave sont nécessaires à l'opérateur pour qu'il ait une bonne compréhension du site esclave. Cela est d'autant plus utile dans le cas d'une manipulation directe du télérobot. Ainsi pour faciliter la tâche de l'opérateur en cas d'intervention (mode manuel ou semi-automatique), différents axes de recherche se sont mis en place.

Interaction à deux bras

Dans de nombreuses applications (centrales nucléaires, ...), il est indispensable d'avoir deux bras télémanipulateurs pour remplacer les deux bras de l'opérateur humain. Le problème est alors le nombre de degrés de liberté à gérer. Une des possibilités est de remplacer les deux bras par un seul bras comportant deux mains.

Effecteur à plusieurs degrés de liberté

Pour améliorer encore la sensation de téléprésence et permettre aussi la recopie exacte des mouvements et des positions de la main de l'opérateur humain qui dirige l'effecteur du bras télérobotisé, on doit donc développer le nombre de degrés de liberté de l'effecteur pour rendre la fonction de préhension plus ergonomique.

Dispositif de commande manuelle

Actuellement les développements tendent à regrouper les dispositifs en deux catégories. La première est constituée par deux joysticks contrôlant chacun trois degrés de liberté, un joystick pour les rotations et l'autre pour les translations de l'effecteur [STA 87]. Le deuxième type de dispositif de commande est un bras isomorphe permettant au manipulateur de retranscrire des mouvements qui seront refaits exactement de la même façon au niveau du bras esclave. Cela permet d'avoir une meilleure sensation d'espace tridimensionnelle pour pouvoir accomplir des manipulations complexes.

Outils d'effecteur interchangeables

La téléopération a pour intérêt de s'adapter à toutes situations par la présence de l'homme dans la boucle de commande. Mais cette adaptation nécessite un panel assez large d'outils pour pouvoir accomplir un nombre important d'opérations. Cela peut aller de la reconnaissance de l'environnement de travail à l'exécution de tâches précises comme la découpe au plasma. Le but est donc d'avoir des téléopérateurs modulables selon la mission à accomplir. Cela pourra alors limiter le coût de la mission et ainsi augmenter la productivité.

1.4.3. Commande de supervision assistée par ordinateur

Nous avons vu jusqu'à présent des axes de recherches permettant de restituer au mieux les informations provenant des différents capteurs du site esclave mais aussi l'amélioration de la télécommande manuelle. Maintenant, nous nous focalisons sur l'interaction homme-machine au niveau de la commande de supervision.

Simulateur hors ligne

Toute opération nécessitant de bonnes connaissances, une dextérité et une certaine habitude oblige l'utilisateur à s'entraîner sur un simulateur compte tenu des risques financiers et de sécurité que les missions peuvent générer. Mais le problème de la simulation d'une mission de téléopération est la complexité de la scène et des animations à afficher et à gérer. Plus la représentation est réaliste et conforme à la réalité, plus le nombre de polygones se permettant de représenter graphiquement la scène augmente. Une des conséquences est la baisse du rafraîchissement de l'affichage. La simulation des collisions entre objets nécessite une grande quantité de calcul ralentissant ainsi le système. Enfin on simule difficilement la prise d'objets par l'effecteur et leur manipulation (problème de la déformation). On peut aussi utiliser la simulation pour évaluer les systèmes de téléopération en terme de performance [PEP 88][SHE 74].

Affichages prédictif et anticipé

Le rôle d'un affichage graphique en téléopération inclut la visualisation de la tâche mais aussi l'anticipation antérieure à l'exécution actuelle et l'affichage prédictif.

L'affichage prédictif est utilisée dans le cas de missions où le retard temporel est un handicap important (espace, fonds marins, ...). Dans ce type de situation, les informations reçues ne restituent pas la situation de l'univers esclave. On utilise donc un affichage prédictif qui est superposé à l'image vidéo retardée et qui représente la situation de l'environnement de travail du télérobot si on travaillait en temps réel [BEJ 90]. Le calcul prédictif est donc extrêmement important. En effet, si les calculs ne sont pas fiables, on peut continuer une mission qui est sur le point de causer un incident grave sur le site et le résultat ne sera affiché que trop tardivement pour pouvoir y remédier.

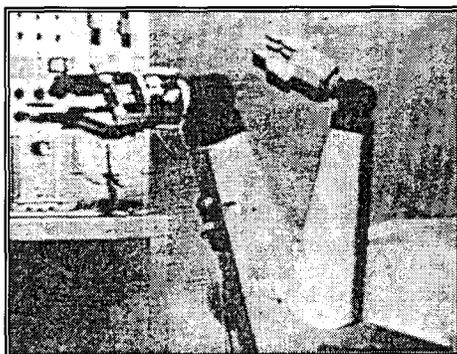


Figure 1.11 : Affichage prédictif (tiré de [Ben 90])

Dans [MAT 96], on présente un télérobot d'exploration lunaire servant de plateforme d'essai à l'application de méthodes pour pallier le problème des cinq secondes de retard de communication. Ces chercheurs utilisent un affichage prédictif (superposition d'une représentation du futur emplacement du robot à l'image vidéo retardée). Après test, ils confirment que l'utilisation de cet affichage réduit énormément les stratégies « move and wait » et diminue le temps nécessaire pour accomplir la mission.

L'affichage anticipé est utilisé quand le besoin de vérification avant l'exécution est nécessaire [KIM 91]. Cela diminue les incertitudes de l'opération et augmente donc la sécurité de l'exécution. On peut aussi prévoir les collisions futures et ainsi les éviter. Cela peut se présenter sous la forme d'une superposition graphique sur l'image vidéo d'une représentation synthétique de l'affichage anticipé.

Langages de commande

Les langages basés sur des successions de positions selon les six axes du robot et des lignes de commande abstraites se sont beaucoup améliorés : on développe donc particulièrement des langages de programmation symbolique pour se rapprocher du langage naturel plus simple d'accès pour des "non-informaticiens" [EVE 93]. Un langage visuel du type "cliquer-pointer-exécuter" est aussi envisageable. Une autre possibilité réside dans les langages graphiques (par exemple YALTA [PAO 90] pour l'aide à l'opérateur dans la planification et exécution d'une mission).

Commande vocale et synthèse vocale

Ce type de commande est très utile pour le passage d'ordres symboliques au système. L'opérateur humain peut ainsi rapidement exécuter un arrêt d'urgence par exemple même

s'il a les mains occupées à ce moment. L'avantage de posséder un panel de canaux sensoriels de commande est de pouvoir éviter la surcharge d'un canal en particulier (la plupart du temps visuel). De plus, si on rajoute au système un synthétiseur vocal, on peut obtenir alors un début de discussion entre l'ordinateur et l'utilisateur dans un langage « plus ou moins naturel ». Le but final est bien sûr d'abandonner le clavier et la programmation et de se limiter à la parole pour communiquer et commander. Un autre problème se pose alors, celui du calibrage vocal de l'opérateur humain et de la fiabilité de la reconnaissance vocale.

Aides pour la détection/identification/réponse d'urgence d'un échec

De nombreuses recherches portent sur le domaine de la surveillance de processus. Il est en effet intéressant d'avoir un système qui gère l'ensemble des données à chaque instant pour pouvoir détecter un incident possible. De plus, lorsque le système stoppe pour cause d'échec, l'opérateur humain n'a peut-être pas le loisir de vérifier l'ensemble des capteurs pour connaître la cause exacte de l'incident. Il est donc intéressant de posséder un système capable d'identifier le type de panne. Enfin, quand l'identification a été réalisée, le système doit pouvoir signaler quelle est la replanification souhaitée pour terminer la mission.

1.4.4. Interactions entre l'ordinateur, l'opérateur, le téléopérateur et la tâche.

Il est toujours difficile, pour plusieurs entités n'ayant pas le même mode de "pensée", d'interagir. C'est pour cette raison que de nombreuses recherches portent sur le thème de l'interaction entre l'ordinateur et l'opérateur.

Ces travaux sont souvent spécifiques aux problèmes inhérents de la téléopération. Actuellement, certaines techniques permettent déjà de pallier certains problèmes. Ce sont ces problèmes et ces solutions que nous allons maintenant présenter. D'autres solutions plus générales liées aux concepts d'interfaces adaptables et adaptatives, seront présentées au chapitre suivant.

1.5. Spécifications en interfaçage

Après avoir rappelé les concepts de la téléopération, nous allons maintenant préciser les problèmes relatifs à ce domaine d'application. Nous terminerons par les solutions envisagées.

1.5.1. Les problèmes actuels

Le premier problème est le choix des informations à afficher. En effet, tout site esclave comporte un nombre plus ou moins important de capteurs qui ont pour but de recueillir les données nécessaires à la connaissance de la bonne marche de la mission ou des problèmes qui peuvent y apparaître. Selon ce nombre, le système peut être en sous-information ou en sur-information. Dans les deux cas, le choix des informations à présenter à l'opérateur doit être effectué. Il faut en effet que le système traite les données brutes et en extraie les informations dites "pertinentes". Cette pertinence est liée à la tâche à accomplir. Il faut de plus savoir sous quelle forme présenter cette information. L'autre problème est le retard de communication. Par définition, la téléopération comporte une notion de commande à distance d'un

télémanipulateur qui génère un retard. En effet, tout transfert d'information quel que soit le support de communication a une durée non nulle. Pour les missions spatiales, ce retard peut aller jusqu'à plusieurs secondes voire plusieurs heures. La solution de ce problème nécessite une commande de type "move and wait" (caractérisée par des ordres de déplacement faibles suivis d'une attente de la réponse et ainsi de suite [SHE 74]). Cela signifie que l'opérateur actionne le joystick au niveau du site maître et attend ensuite que l'action soit accomplie au niveau du site esclave. Evidemment, cette stratégie diminue de façon drastique la performance et augmente la durée de la mission. Il faut alors qu'au niveau de l'interface soient présentées des données prédictives.

1.5.2. Les solutions envisagées

Pour résoudre le problème du choix des informations à présenter, on peut se baser sur deux concepts. Tout d'abord l'adaptativité par rapport à la mission. Cela signifie que l'interface adapte les informations affichées selon la tâche à accomplir. Ensuite on peut envisager l'adaptativité par rapport à l'opérateur. Dans ce cas, l'interface adapte les informations affichées selon l'utilisateur qui supervise l'action du télérobot.

Pour améliorer la compréhension de l'opérateur humain vis à vis de la réalisation de la tâche au niveau du site esclave, on peut utiliser également la réalité virtuelle à six niveaux différents :

1. Le premier concerne la génération de plan ou la décision en général [CHA 94][MAL 94]. Cela implique que l'on a recréé virtuellement le site du robot et que la machine et l'interface homme-calculateur sont dotés de tous les perfectionnements permettant l'immersion. Ainsi, l'opérateur peut décider des actions du robot par une simulation où il est virtuellement plongé dans le milieu où il voit et ressent les efforts déployés par le robot [SAL 92]. L'équipement standard de l'utilisateur pour ce type de tâche est basé sur un exosquelette et sur un manipulateur contrôlé par des joysticks ou des trackballs et ou des interrupteurs. De plus, pour faciliter la compréhension et l'utilisation de cette interface, il est souvent utile de superposer à la scène des indications telles que distances, valeurs des articulations du robot, des forces, couples et rappel des ordres précédents sous forme de fenêtres graphiques.
2. Le deuxième est lié à l'information de l'opérateur surtout lorsqu'il pilote en ligne le robot car, dans la majorité des cas, il y a un problème de restitution de la scène malgré l'utilisation possible de plusieurs caméras CCD, voire même d'images stéréoscopiques. Ainsi, on a souvent besoin, pendant la mission, pour agir, de voir l'évolution globale de la scène de plusieurs points de vue pas toujours accessibles par la caméra mobile reproduisant les mouvements de la tête de l'opérateur, par exemple, de visualiser l'effecteur à partir du fond de la cavité dans le cas d'une tâche de type "Peg in-the-hole" (saisir une pièce et la déposer dans une cavité prévue à sa taille). Ceci est d'une forte utilité si la vision est mauvaise ou peu éclairée, voire même obstruée et résout le problème lié aux contraintes technologiques des caméras pour l'agrandissement d'objets très éloignés.
3. Le troisième est lié aux techniques de "Virtual Fixtures", cela consiste par exemple à mettre sur l'image de la scène filmée des lignes guides virtuelles que l'opérateur pourra utiliser en les faisant suivre par l'effecteur pour pouvoir se déplacer dans la bonne direction sans risque de collision et de façon optimale.

4. Le quatrième correspond à la résolution des problèmes liés aux délais de transmission, surtout dans le cas des missions spatiales ou de manipulateurs embarqués à bord de véhicules terrestres ou sous-marins reliés au poste de pilotage par des liaisons à faible débit. Dans ce cas, on utilise un robot esclave virtuel qui fait la jonction entre le site maître et le site esclave. C'est une "médiation" entre le robot maître et le robot esclave. Avec cette solution, la manipulation du robot virtuel par l'opérateur se fait alors sans délais de transmission (ou avec un délai très faible). Ainsi, les délais n'entachent que les transmissions du robot virtuel au robot esclave. Cela nécessite par conséquent de bons modèles du robot et de son environnement. Un exemple d'application est le ROTEX de German Aerospace Research Establishment [HIR 93]
5. Enfin, le dernier niveau est relatif à la sécurité [HAL 94] et à la vérification de la bonne exécution de la tâche. Ainsi, dans le cadre de la "programmation à désignation d'objectifs" (où les techniques de la Réalité Virtuelle offrent la possibilité de visualiser en cours d'exécution de la tâche deux images superposées : une image de synthèse représentant ce qui avait été planifié et une image du robot distant en train de travailler), on peut observer des écarts entre les efforts prévus et réels, d'où l'apparition sur l'écran d'écarts de positions visibles. Ainsi, si ces différences deviennent problématiques pour une bonne exécution de la tâche, l'opérateur peut en arrêter l'exécution et reprendre le contrôle.
6. La réalité virtuelle permet aussi la simulation d'un environnement de travail et ainsi faciliter l'entraînement des opérateurs [ZIE 95]. En effet, la facilité de générer des images de synthèse permet de recréer un environnement virtuel capable de reproduire les interactions possibles avec l'environnement réel. Cela peut se rapprocher de la notion de téléprésence préalablement vue. L'opérateur peut donc simuler sa mission et étudier son comportement dans des cas extrêmes. Il pourra alors s'entraîner suffisamment pour améliorer sa connaissance du système.

Toutes ces méthodes s'accompagnent de la nécessité de synthétiser l'information. Nous verrons dans les chapitres suivants comment la fusion des informations a son rôle à jouer dans ce problème.

CONCLUSION DU PREMIER CHAPITRE

Dans cette première partie, nous avons posé les bases de notre problématique concernant les besoins de l'interfaçage en Téléopération.

Ainsi dans un premier temps, nous avons vu que le téléopérateur implique la « présence » de l'homme dans la boucle de commande. Cette situation nécessite que l'opérateur soit constamment informé de la situation du site distant pour pouvoir accomplir sa tâche. Ce besoin d'informations exactes et pertinentes se retrouve au niveau du choix de l'interface homme-machine ainsi que dans sa structure.

Se pose alors le choix du type d'interface à employer pour résoudre au maximum les difficultés engendrées par le contrôle à distance d'un process. Le prochain chapitre a pour but de répondre à cette question.

RÉFÉRENCES

Chapitre 1 : Téléopération et besoins en interfaçage

- [AND] **R.J. ANDERSON**, « Teleoperation with Virtual Force Feedback ».
- [BEJ 90] **A.K. BEJCZY, W.S. KIM and S.C. VENEMA**, « The Phantom Robot : Predictive Displays for teleoperation with Time Delay », *ch2876-1/90/0000/0546*, 1990 IEEE, pp. 546-551.
- [CHA 94] **B. de la CHAPELLE and B. DUPLAT**, « Virtual reality and robotics beyond a mere interface », *actes ORIA '94*.
- [CHA 98] **F. CHAVAND and M. MALLEM**, « Enhanced Reality Versus Virtual reality for teleoperated robotics and Teleoperation », *CESA '98*, Hammamet, pp. 626-631.
- [DAS 94] **I. DASSONVILLE, D. JOLLY and A.M. DESODT**, « Towards a modelisation of trust in teleoperation system », in *Advances in Agile Manufacturing*, vol n°4, PT. Kidd and W. Karvowski (Ed.), IOS Press, pp. 507-510, 1994.
- [DES 93] **A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Methodologies for the choice of control mode in telerobotics », *24th ISIR*, 1993, pp. 305-310.
- [DES 95] **A.M. DESODT, D. JOLLY and P. VIDAL**, « Use of a model of vigilance to control a surgical teleoperation task », *3rd French-israelian symposium on robotics*, 22-23 mai 1995.
- [EVE 89] **P. EVEN, L. MARCE, J. MORILLON and R. FOURNIER**, « The modelling system pyramide as an interactive help for the guidance of the inspection vehicle Centaure », *Rapport de recherche n°1061, programme 6*, Août 1989, INRIA Rennes.
- [EVE 93] **P. EVEN and R. FOURNIER**, « Exécution de tâches de télérobotique basée sur une programmation graphique et modélisation géométriques 3D », *IEEE SMC*, Le Touquet, 1993, pp. 132, Vol n°3.
- [FIS 93] **S. FISHER, M. McGREEVY, J. HUMPHRIES and W. ROBINETT**, « Virtual interface environment for telepresence applications », *ICAR '93*, pp. 71-77.
-

- [FRO 93] **J. FRÖHLICH and R. DILLMAN**, « Interactive Robot Control System for teleoperation », *24th ISIR*, 1993, pp. 327-334.
- [GRA 88] **P. GRAVEZ**, « Etude d'un système de supervision pour la téléopération assistée par ordinateur », *Thèse de doctorat en automatique n°1424*, Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois, 28 mars 1988.
- [GRU 95] **G.Z. GRUDIC and P.D. LAWRENCE**, « Human-to-Robot Skill Transfer Via Teleoperation », 0-7803-2559 - 1/95, IEEE, pp. 2109-2114.
- [HAL 94] **M. HALBACH and A.V. MUYSEWINKEL**, « Man machine interface for advanced teloperated mobile robots », *actes ORIA '94*.
- [HIR 93] **G. HIRZINGER**, « ROTEX, the first robot in space », *ICAR 93*, pp. 9-33.
- [HOC 94] **J.M. HOC**, « La résolution de problème en situation dynamique : Apports de la Psychologie Cognitive et implications sur la conception de la coopération homme-machine », *Journées « Supervision et coopération homme-machine » du GDR Automatique*, octobre 1994, 25pp.
- [KHE 95] **A. KHEDDAR, M. BOUZIT and P. COIFFET**, « A virtual reality system devoted to telerobotics and applications in telesurgery », *3rd French-israelian symposium on robotics*, 22-23 mai 1995.
- [KHE 98] **A. KHEDDAR, J.G. FONTAINE and P. COIFFET**, « Mobile Robot Teleoperation in Virtual Reality », *CESA'98 Hammamet*, pp. 104-109.
- [KIM 91] **W. S. KIM and A. K. BEJCZY**, « Graphics Displays for operator Aid in Telemanipulation », ISSN #0-7803-0233-8/91 \$1000, IEEE, pp. 1059-1067, 1991.
- [MAL 90] **A. MALLEM**, « Aide à la perception en téléopération : superposition à une image synthétique animée en « temps réel » à partir d'informations capteurs », *Thèse de doctorat en robotique*, Université Paris XII, 24 avril 1990.
- [MAL 92] **M. MALLEM, F. CHAVAND and E. COLLE**, « Computer-assisted visual perception in teleoperated robotics », *Robotica volume n°10*, 1992, pp. 93-103.
- [MAL 94] **M. MALLEM, C. N'ZI and F. CHAVAND**, « Multimedia control interface in teleoperation based on « virtual-real » approach », *actes ORIA '94*.
- [MES 94] **S. MESTIRI, D. JOLLY, J.M. JACQUESSON and A.M. DESODT**, « Vigilance in a teleoperation task », in *Advances in Agile Manufacturing*, vol n°4, PT. Kidd and W. Karvowski (Ed.), IOS Press, pp. 515-518, 1994.
- [MOR 95] **N. MORAY, D. HISKES, J. LEE and B.M. MUIR**, « Trust and Human intervention in automated systems », de « *Expertise and technology : cognition and human-computer cooperation* », ed. Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1995, pp. 183-212.

- [PAO 90] **J.C. PAOLETTI et L. MARCÉ**, « Yalta : un langage pour la téléopération », *Rapport de recherche n°1258, programme 6*, juin 1990, INRIA Rennes.
- [PEP 88] **R.L. PEPPER and P.K. KAOMEA**, « Teleoperation : telepresence et estimation des performances », *Proc. Int. Symposium teleoperation and Control*, pp. 227-234, Juillet 1988.
- [PER 94] **P. PERUCH, D. MESTRE, C. TERRE and R. FOURNIER**, « Visual aspects of human-machine interfaces in driving remote-controlled vehicles », *actes ORIA'94*.
- [RAS 99] **A. RASTAGI, P. MILGRAM and J. J. GRODSKI**, « Augmented telerobotic Control : a visual interface for unstructured environments », internet.
- [SAL 92] **J. SALISBURY and M. SRINIVASAN**, " Virtual Environment Technology for Training ", *BBN Report No.7661*, VETREC, MIT.
- [SHE 74] **T.B. SHERIDAN and W. FERREL**, « Man-Machine systems : Information, control and decision models of human performance », *MIT Press*, 1974.
- [SHE 92a] **T.B. SHERIDAN**, « Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control », *The M.I.T. Press Cambridge, Massachussets*, 1992.
- [SHE 92b] **T.B. SHERIDAN**, « Teleoperation, telerobotics and telepresence : a progress report », *IFAC Man-Machine Systems*, The Hague, The Netherlands, 1992, pp. 1-8.
- [SPE 84] **J.C. SPERANDIO**, « L'ergonomie du travail mental », ed Masson, 130 pp, 1984.
- [STA 87] **L. STARK, W.S. KIM**, « Telerobotics : display, control and communication problems », *IEEE Journal of robotics and automation*, Vol RA3 n°1, février 1987.
- [STA 88] **L. STARK**, « Telerobotics : problems et needs of the research », *IEEE trans on aerospace and electronic systems*, Vol 24 n°5, september 1988.
- [STO 92] **R. STONE**, « Virtual reality and telepresence », *Robotica, volume n°10*, 1992, pp. 461-467.
- [THI 94] **C. THIBOUT, P. EVEN and R. FOURNIER**, « Virtual reality for teleoperated robot control », *actes ORIA'94*.
- [TOL] **B. TOLLEY**, « Teleman : a european communities robotics programme for the nuclear industry », *TELEMAN Programme, DG XII*, Commission of the European Communities, Rue de la Loi, n°200, B - 1049, Brussels, Belgium.
- [VER 84] **J. VERTUT et P. COIFFET**, « Téléopération évolution des technologies », tome 3A, collection Les Robots, Hermés, 1984.
-

[ZIE 95] R. ZIEGLER, W. MUELLER, G. FISCHER and M. GOEBEL, « A Virtual reality medical training system », *CVR Med'95*, pp. 282-292.

Chapitre 2

Concepts d'interfaces intelligentes et critères ergonomiques pour leur conception

Pour créer une interface homme-machine dite intelligente, on doit s'appuyer sur différentes règles. On peut en dénombrer deux principales : tout d'abord l'ergonomie, la deuxième étant l'implémentation des concepts du type d'interface choisi au niveau des règles de gestion du système. Après avoir introduit les interfaces intelligentes, nous décrirons des critères ergonomiques selon différents points de vue. La deuxième partie de ce chapitre fera l'état de l'art sur le type d'interface que nous avons choisi : les interfaces homme-machine dites adaptatives.

2.1. Les interfaces homme-machine dites intelligentes

Nous allons exposer ci-dessous une classification des interfaces homme-machine sur la base du modèle de SEEHEIM [KOL 97][TEN 92]. Nous observerons le comportement des interfaces à partir des interfaces flexibles jusqu'à celles à base d'agents intelligents.

2.1.1. Modèle de SEEHEIM.

Avant de présenter les différents types d'interfaces intelligentes, nous allons expliquer le modèle d'architecture, SEEHEIM, que nous allons utiliser pour représenter les différents concepts associés à chacune d'entre elles.

La paternité de ce modèle revient à un groupe de travail SIGGRAPH'85, qui lui a donné comme patronyme le nom du lieu où il a été conçu, SEEHEIM en Allemagne.

Ce modèle comprend trois composants logiques représentés sur la figure 2.1.

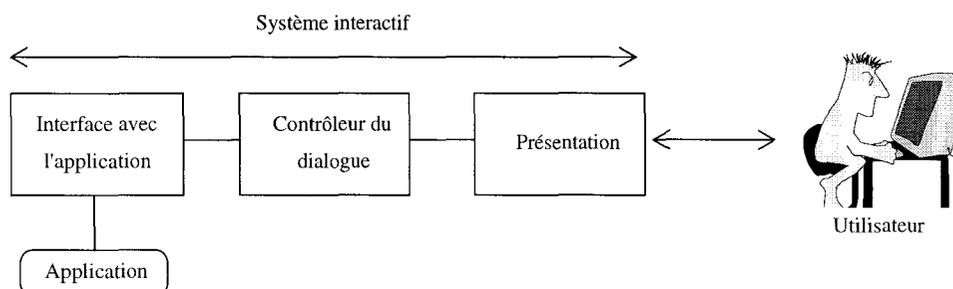


Figure 2.1 : Modèle de SEEHEIM

La partie *présentation* correspond à la partie visible par l'utilisateur. Ses fonctions sont de présenter les informations à l'écran et de gérer les entrées/sorties. Le *contrôleur du dialogue*

est le responsable de la structure du dialogue entre l'utilisateur et le système interactif. Enfin, *l'interface avec l'application* s'occupe de la communication des données entre l'interface et l'application.

Ce modèle étant maintenant défini, nous allons présenter les différents types d'interfaces homme-machine dites "intelligentes" qui visent à intégrer des facteurs humains directement dans le système. Ce système, de ce fait, ne se focalise plus que sur le dialogue entre l'utilisateur et les différents éléments du système homme-machine [KOL 95].

2.1.2. Interface flexible

Son intérêt provient du fait qu'elle permet d'utiliser un même support de dialogue pour communiquer avec plusieurs systèmes différents. L'opérateur humain peut ainsi choisir son type d'affichage, ses critères d'interaction, son style de dialogue, de façon subjective sans intervention du système. Ce principe se retrouve au niveau de la figure 2.2.

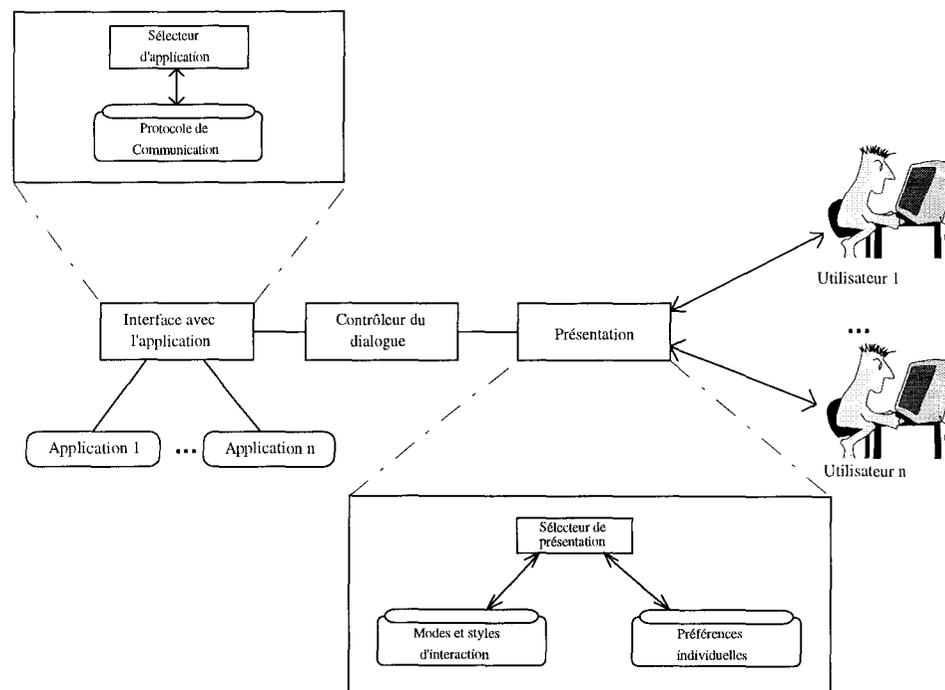


Figure 2.2 : Concept d'interface flexible dans le modèle de SEEHEIM

Les éléments requis sont regroupés dans trois bases. La première contient *les protocoles de communication* avec les différentes applications constituant l'environnement de travail de l'utilisateur. Le deuxième spécifie *les modes de présentation* et les différents styles d'interaction accessibles aux utilisateurs. Enfin le dernier comporte *les préférences de l'utilisateur* qui sont bien évidemment différentes selon l'utilisateur du système. Cela comporte, par exemple, le placement des différentes fenêtres de l'affichage de l'interface homme-machine.

Les avantages apportés sont doubles. D'une part les actions de l'utilisateur sont filtrées et traduites dans le langage de l'application sélectionnée et inversement. D'autre part l'utilisation d'un ensemble d'applications hétérogènes devient plus conviviale puisque l'environnement de travail évolue peu ou pas.

Il en résulte que l'inconvénient majeur provient du coût de développement qui est proportionnel au nombre d'applications du système et de leur hétérogénéité. En effet, il faut

rendre l'interface susceptible de dialoguer avec différentes applications n'ayant pas le même protocole.

2.1.3. Interface tolérante aux erreurs humaines.

Son principe consiste à remplacer, améliorer ou annuler les actions de l'opérateur qui seraient au mieux sous optimales et au pire non appropriées [MAS 92]. Ainsi pour connaître les réactions adéquates, de nombreuses observations d'utilisateurs se situant dans un univers de travail en situations réelles ou simulées, s'avèrent nécessaire, lors d'analyses préliminaires.

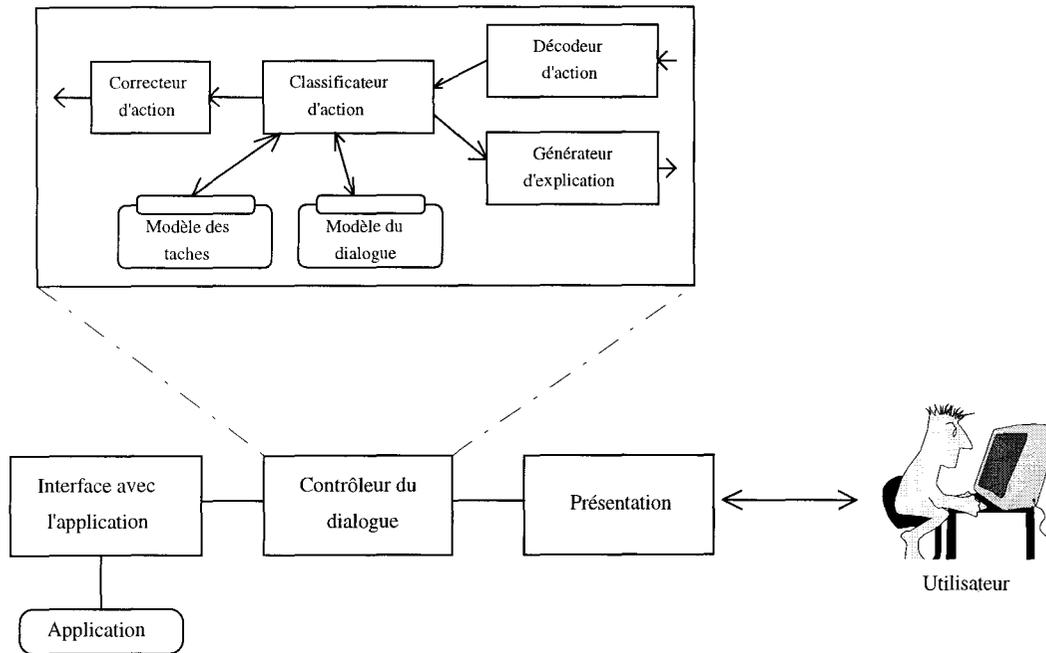


Figure 2.3 : Concept d'interface tolérante aux erreurs humaines dans le modèle de SEEHEIM

Les éléments requis sont regroupés sous la forme de trois modules principaux. Le premier est le *module de décodage* qui retranscrit les ordres de l'utilisateur en données exploitables par le système. Le deuxième est un *module de classifications/corrections*. Celle-ci classe tout d'abord l'action présumée de l'utilisateur. Pour cela il se base sur le modèle de la mission proposée. Puis le système la corrige dans le cas où elle n'est pas conforme aux consignes de production et/ou de sécurité. Enfin, le *module d'explication* de la tâche modifiée par le module précédent, permet à l'utilisateur de comprendre les modifications apportées et leurs avantages.

Par conséquent, sa force est aussi sa faiblesse car si le système rencontre un problème qui n'a pas été prévu alors il ne pourra pas réagir d'où un risque probable de dysfonctionnement. En fait, son efficacité provient du fait de sa capacité à s'adapter aux actions de l'utilisateur.

2.1.4. Interface adaptative.

Le but de ce type d'interface est d'adapter les interactions entre le système et l'homme aux tâches que celui-ci a à effectuer. L'adaptativité peut être appliquée à différents critères. Le critère que l'on emploie le plus souvent se trouve être l'opérateur humain. Un exemple d'interface adaptative inspirée de HEFLEY [HEF 90] est visible en figure 2.4.

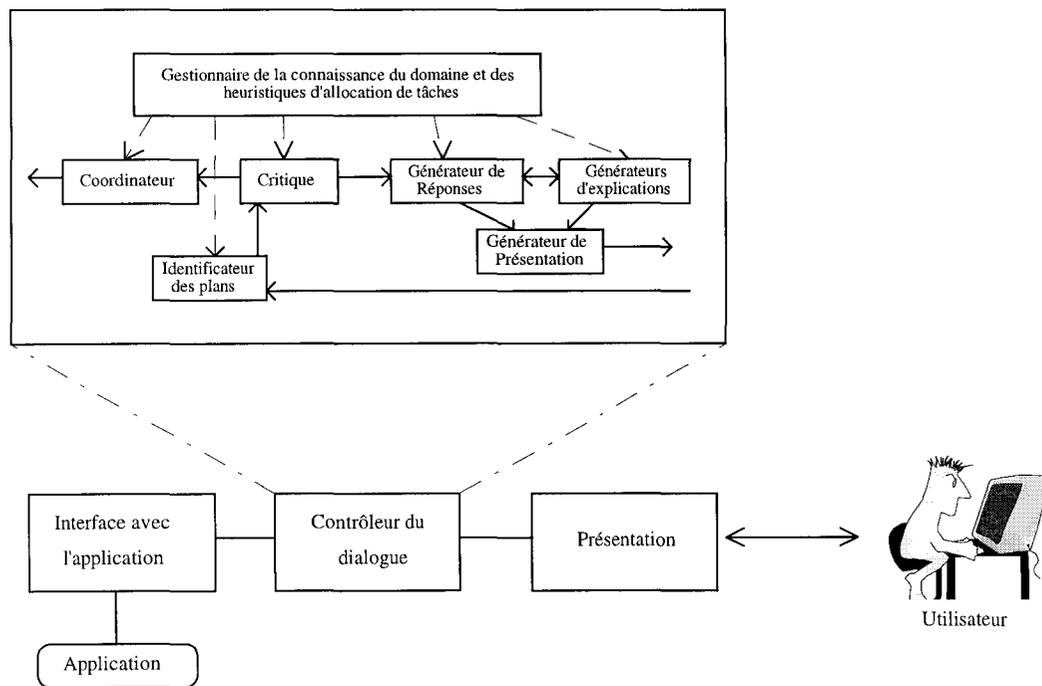


Figure 2.4 : Concept d'interface adaptative dans le modèle de SEEHEIM

Le contrôleur de dialogue intègre des agents permettant de faire le lien entre une application donnée et son utilisateur. De plus, cette interface intègre un modèle des tâches évolué sous forme d'un système "intelligent" d'aide à la décision qui correspond au modèle de l'application vue par l'utilisateur.

Ces agents sont au nombre de six. L'*identificateur des plans* utilise sa base de connaissance pour déduire des actions de l'utilisateur la planification des stratégies afin d'en rechercher les buts escomptés. L'agent *critique* identifie les actions des utilisateurs considérées comme critiques vis-à-vis des contraintes à respecter. Le *coordinateur* des connaissances sur le domaine a la possibilité d'allouer certaines tâches de l'utilisateur au programme de l'application qui utilise des réponses planifiées. Cela permet donc d'alléger la charge de travail de l'opérateur. Le *générateur de réponses* lui, répond aux questions de l'utilisateur se trouvant face à des événements inconnus. Le *générateur d'explications* donne des explications sur les différentes conclusions du système d'aide. Ainsi, si l'utilisateur en fait la demande, le système peut justifier les raisons qui l'ont poussé par exemple à décharger l'utilisateur de telle tâche (besoin de précision, manque d'information, surcharge mental, ...). Enfin le *générateur de présentation* doit présenter au mieux (de la façon la plus pertinente qui soit) l'information sous une forme adaptée aux connaissances et aux besoins de l'utilisateur.

C'est dans ce type d'interface que se situe mon travail qui sera présentée dans les chapitres suivants.

2.1.5. Opérateur assistant.

A ce niveau, l'interface devient un assistant. Elle peut ainsi aider l'opérateur dans la réalisation de ses tâches, faire preuve d'initiatives mais uniquement au niveau informationnel (par exemple pour prédire une panne due à l'usure d'une pièce) car l'opérateur humain doit rester le décideur final [BOY 88].

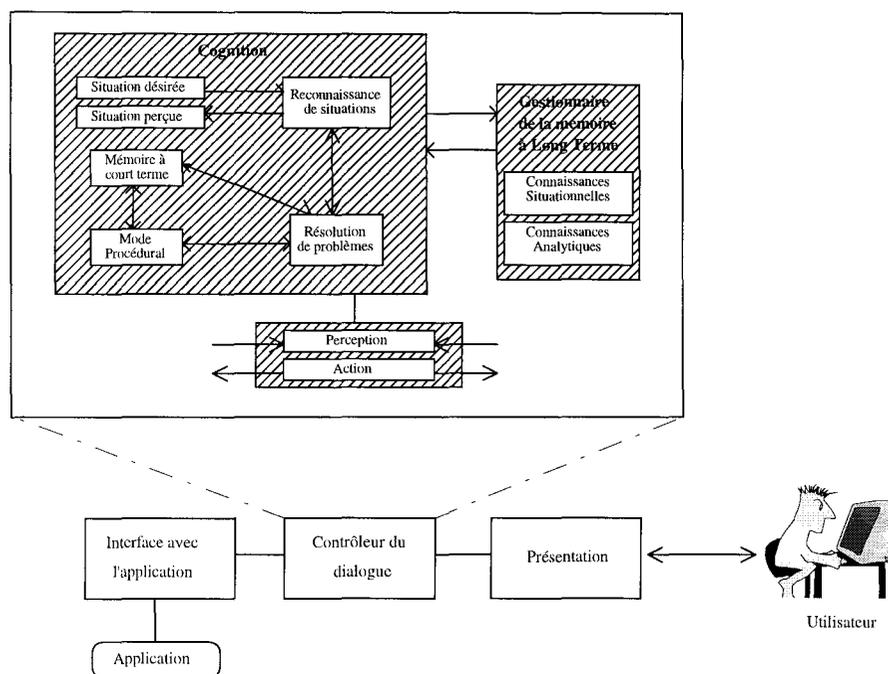


Figure 2.5 : Concepts d'opérateur assistant dans le modèle de SEEHEIM

Cette interface est composée de plusieurs modules dont le module *de reconnaissance des situations* et celui *de résolution de problème*. Le premier prend en compte la situation désirée, celle perçue et l'ensemble des connaissances situationnelles et analytiques placées dans une "mémoire à long terme", et il en déduit un sous-ensemble de règles à inférer. Le second utilise ainsi pour résoudre les problèmes de l'utilisateur le sous-ensemble de règles définies précédemment. On peut en déduire que le module de reconnaissance de situations est l'élément-clé car s'il y a une ambiguïté dans le choix du type de situation, des règles inadéquates seront définies et par conséquent leur exécution va occasionner une résolution inadaptée des problèmes et ainsi les conserver, voire les empirer. La base de données des situations mérite donc un soin tout particulier.

Actuellement, ce principe fait l'objet de nombreuses recherches dans les domaines de l'espace et de l'aéronautique (cf. [AMA 92] par exemple).

2.1.6. L'interface vue comme un agent intelligent.

Le principe de cette interface est de décomposer le système homme-machine en un ensemble d'agents intelligents. Ces agents travaillent en parallèle et/ou coopèrent, dans le but de résoudre différents problèmes relatifs aux tâches effectuées.

Le concept d'agent intelligent est dérivé de recherches avancées en Intelligence Artificielle Distribuée. Son rôle est de modéliser par un formalisme logique, le comportement d'un agent rationnel, basé sur des états intentionnels (croyances, désirs, intentions et engagements) [MAN 93].

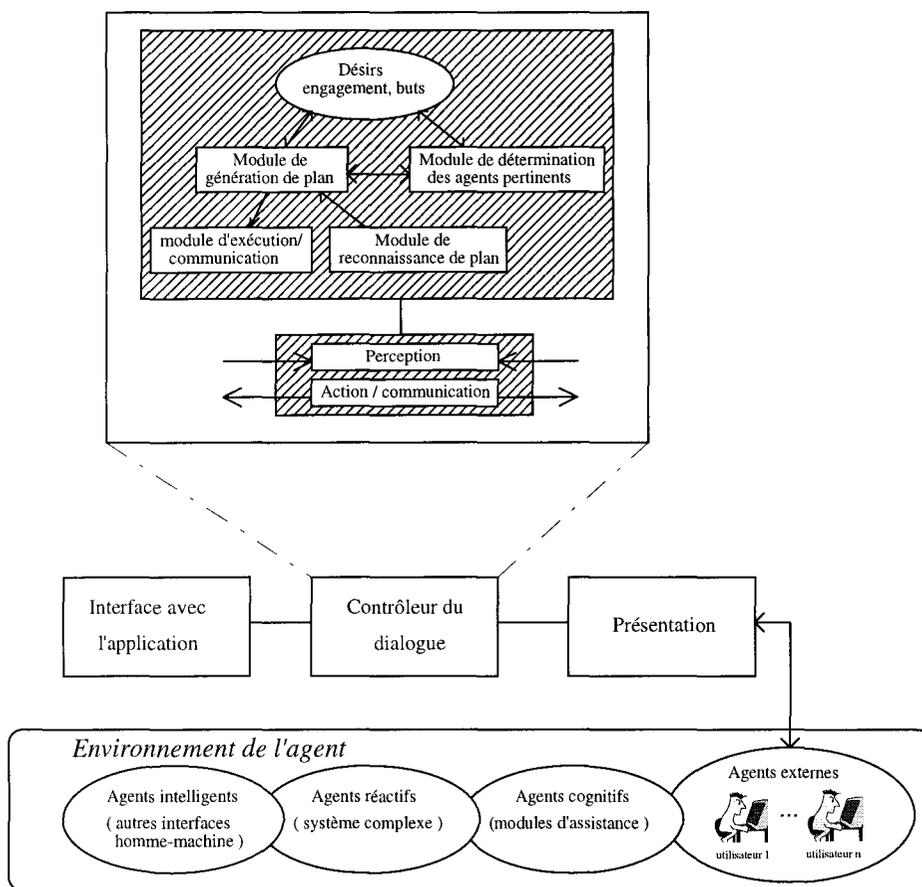


Figure 2.6 : Concepts d'agents intelligents dans le modèle de SEEHEIM

Les différentes étapes sont les suivantes. Tout d'abord, selon les désirs de l'utilisateur, le module "Désirs, engagement, buts" s'engage à réaliser les buts sélectionnés. Puis si le but est réalisable, alors un plan d'action est généré, sinon le but doit être sélectionné par un autre agent. Enfin, après l'élaboration de ce plan, l'agent l'exécute afin de réaliser le but pour lequel il s'est engagé grâce au module exécution/communication.

2.1.7. Les autres interfaces

Deux autres types d'interface se rencontrent dans la littérature [TEN 92] :

Tout d'abord, les *interfaces écologiques* : ce concept est développé par Rasmussen et Vicente, et a pour but d'affecter à l'opérateur des tâches où l'humain excelle et de laisser le reste au contrôle de la machine permettant ainsi de minimiser les risques d'erreurs. Les tâches doivent être assez simples au départ puis évoluent avec le temps. Cela implique forcément une volonté de diminuer la charge de travail mental dans des tâches de surveillance par exemple. Le comportement de l'opérateur sur ce type d'interface est de bas niveau, c'est-à-dire qu'il tend vers un comportement quasi-reflexe (comme dans les jeux vidéo).

Enfin, les *interfaces hypermedia ou multimédia* sont créées autour du concept d'hypertextes et de rajout d'images et de sons. Elle peuvent donc prendre différentes structures (hiérarchique, hypercube, en anneau,...) qui modifient la façon de naviguer en interne.

Quel que soit le type d'interface visé, leur conception peut s'appuyer sur des connaissances ergonomiques disponibles en grande quantité dans la littérature. Différentes connaissances représentatives sont recensées ci-dessous.

2.2. Critères ergonomiques en conception d'interfaces

Ce paragraphe présente un état de l'art sur l'ergonomie des interfaces homme-machine (ergonomie des logiciels).

Elle a pour but de rendre plus facile, plus agréable et surtout plus efficace le travail à fournir par un opérateur placé devant un écran (ou plusieurs).

Nous utiliserons pour ce mémoire les différents concepts appliqués à la notion d'interfaçage, mais bien entendu l'ergonomie ne se limite pas aux sciences informatiques et on la retrouve aussi bien dans l'élaboration des postes de travail que dans la fabrication de biens de consommation grand public.

Voici quelques définitions connues du terme ergonomie [SPE 80] :

- « L'ergonomie est l'étude scientifique de la relation entre l'homme et ses moyens, méthodes et milieux de travail. Son objectif est d'élaborer, avec le concours des diverses disciplines scientifiques qui la composent, un corps de connaissances qui, dans une perspective d'application, doit aboutir à une meilleure adaptation à l'homme des moyens technologiques de production et des milieux de travail et de vie » [définition élaborée au 4^{ème} congrès international d'ergonomie].
- « L'ergonomie est l'ensemble des connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité. » d'après A. Wisner.

L'ergonomie pourrait également être différenciée en ergonomies de « surface » et « cognitive » [BAS]. La première signification concerne plus particulièrement les aspects physiques des interfaces (présentation matérielle de l'information, comme la taille des caractères ou la couleur, mais aussi les modalités de réponse de l'opérateur comme l'utilisation de la souris ou du clavier par exemple). L'ergonomie cognitive concerne principalement le traitement de l'information au cours des interactions entre le système informatique et l'opérateur humain.

Nous débuterons cette partie par une liste de critères ergonomiques, ce travail étant le résultat du projet Psycho-Ergo de l'I.N.R.I.A. Cette liste qui est composée de huit critères principaux, sera développée et chacun de ses points expliqué à l'aide d'exemples. Nous poursuivrons ensuite par la vision de l'ergonomie selon Balzert. Il regroupe plusieurs objectifs tels que l'élimination du danger mental et physique, des handicaps physiques et mentaux, ainsi que l'acceptabilité et le développement de la personnalité de l'utilisateur. Le paragraphe suivant reprendra les différentes notions énoncées par Coutaz dans son ouvrage "Interface homme-ordinateur, conception et réalisation". Ce chapitre se terminera enfin par la présentation de deux ouvrages de référence. Le premier est un travail portant sur le domaine des interfaces homme-machine graphiques. Et le second est un recueil de publications concernant aussi bien le multi-fenêtrage que le choix des méthodes ergonomiques selon le type d'opérateurs.

2.2.1. Critères ergonomiques selon BASTIEN et SCAPIN.

La liste des critères ergonomiques de base décrite dans ce paragraphe a été conçue et utilisée lors du projet Psycho-Ergo de l'INRIA [BAS 93]. Elle est utilisable aussi bien en conception qu'en évaluation de systèmes interactifs.

2.2.1.1. Guidage

C'est l'ensemble des moyens mis en oeuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'ordinateur. Il permet à l'utilisateur de se repérer dans les séquences d'instructions à tout instant, ainsi que d'obtenir de l'information supplémentaire s'il en fait la demande.

L'*Incitation* recouvre les moyens mis en oeuvre pour amener les utilisateurs à effectuer des actions spécifiques, par la déclaration des différentes alternatives possibles pour l'utilisateur selon le contexte, ainsi que par la connaissance de l'état du système. Par exemple nous pouvons fournir des indices sur la longueur autorisée des entrées dans un champ.

Le *Groupement/Distinction entre Items* concerne l'organisation visuelle des items d'information les uns par rapport aux autres. On peut utiliser deux critères : leur localisation (topologie) et leur format (caractéristiques graphiques), apportant un meilleur repérage dans les fonctionnalités de l'interface. Cela concerne par exemple l'organisation des items en listes hiérarchiques (localisation) ou l'établissement d'une distinction visuelle entre des aires ayant des fonctions différentes (format).

Le *Retour d'informations immédiat* correspond aux réponses de l'ordinateur consécutives aux actions de l'utilisateur. Le délai de réponse doit être le plus court possible pour donner une certaine homogénéité à l'interface. De même, pour augmenter la confiance de l'utilisateur, la qualité des retours d'information est cruciale. On peut citer l'apparition d'un message indiquant le retour à l'état précédent après l'interruption du traitement par l'opérateur.

Enfin la *Lisibilité* concerne les "caractéristiques lexicales de présentation des informations sur l'écran pouvant entraver ou faciliter la lecture de ces informations (luminance des caractères, contraste caractères fond, dimension des lettres, etc...). Par exemple, les lignes de texte continu doivent être d'au moins 50 caractères.

2.2.1.2. Charge de Travail

Il s'agit de "l'ensemble des éléments de l'interface qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptive ou mnésique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue". Deux sous critères lui sont associés.

Tout d'abord la *Brièveté*. Son but est de limiter au maximum le travail de lecture, d'entrée et les étapes de passage obligé pour l'utilisateur. On utilise pour cela les notions de concision et d'actions minimales. La concision concerne la lecture et l'entrée de données au niveau perceptif et mnésique. Par exemple si des codes sont supérieurs à 4 ou 5 caractères, il faut utiliser des mnémotechniques ou abréviations. Avec les actions minimales, on vise à limiter le nombre d'étapes obligatoires pour l'utilisateur afin d'accélérer l'accomplissement d'une tâche, diminuant ainsi la charge de travail. Nous pouvons ainsi minimiser le nombre d'étapes dans la sélection de menus.

Le deuxième sous critère « *Densité Informationnelle* » concerne « la charge de travail du point de vue perceptif et mnésique, pour des ensembles d'éléments et non pour des items ». Il ne faut donc apporter à l'utilisateur que des informations en rapport avec la tâche qu'il effectue. Par exemple, il faut pouvoir éviter à l'utilisateur d'avoir à se rappeler des données d'une page écran à une autre.

D'après SPERANDIO, l'évaluation de la charge de travail mental est plus complexe que dans le cas de la charge de travail physique. Il existe quatre types de méthodes possibles d'évaluation : l'enregistrement d'indicateurs électro-physiologiques, le questionnement direct des sujets, la méthode dite de la « double tâche » et l'analyse des variations du comportement opératoire [SPE 91]. D'après GRISLIN, on peut évaluer la charge de travail d'un opérateur de différentes façons : par les échelles subjectives (questionnaires d'opinion comme COOPER-HARPER ou TLX) ainsi que les mesures physiologiques (activité cérébrale, oculaire, ...) mais aussi par les mesures de performance (prise en compte de critères sur une tâche référence ou méthode de la double-tâche) ou enfin par un modèle normatif de l'opérateur [GRI 95]. Notons que WAWAK propose de représenter la charge de travail par un nombre flou MW (mental workload) qui peut être calculé par un pourcentage du temps de travail et le ressenti de l'opérateur à propos du travail qu'il a fourni [WAW 94].

Les facteurs déterminant la charge de travail sont au nombre de trois. Tout d'abord les facteurs relatifs à la situation de travail (nature de la tâche, organisation du travail, conditions d'environnement physique,) puis ceux relatifs à l'individu (le niveau d'apprentissage, l'âge, l'état de fatigue et de santé, les traits de personnalité comme le niveau d'anxiété et enfin l'attitude devant la tâche). Enfin nous trouvons les facteurs sociaux (environnement social immédiat et vie extra-professionnelle) [SPE 84].

La charge de travail du point de vue médical peut être défini par « un ensemble de contraintes subies au cours d'une tâche déterminée » (tiré de Dictionnaire de médecine édition 1982).

Enfin d'après JORGENSEN et JENSEN, on peut résumer l'ensemble des méthodes d'évaluation de la charge de travail mental en un tableau. Ce tableau est décomposé en quatre types de tâche appelée « primaire » réalisée par l'opérateur comme par exemple des travaux psychomoteurs ou de réflexion. En ce qui concerne les méthodes de mesure, elles sont regroupées en trois catégories. Nous avons les méthodes subjectives comme l'échelle de Cooper-Harper, les méthodes physiologique comme le rythme cardiaque ou la fréquence de clignement de l'œil. Enfin nous avons l'utilisation de tâches secondaires qui sont exécutées en parallèle de la tâche primaire. Cela peut être par exemple l'estimation du temps écoulé depuis le début de la mission.

Dans le tableau 2.1, on retrouve une symbologie. Ainsi pour chaque méthode, on signale si elle est discriminante pour la tâche primaire au moyen de « ✓ ». Plus le nombre de « ✓ » est important et plus cette méthode est adaptée à la situation. Si au contraire on a un « . » dans le tableau, cela veut signifier qu'elle peut être utilisée mais pas conseillée. Enfin aucune indication spécifie la non validité de cette méthode dans le type de tâche réalisée.

<i>Mesure de la charge de travail mental</i>	<i>Tâche primaire</i>			
	<i>Psychomotrice</i>	<i>Communication</i>	<i>Perception</i>	<i>Reflexion (Calcul)</i>
Tâche secondaire				
Estimation du temps écoulé	•	✓✓	✓	✓✓
Rythme de frappe		•	✓✓	•
Physiologique				
Fréquence cardiaque	✓	•	•	•
Fréquence de respiration	•	•	✓✓	•
Diamètre de la pupille oculaire	•	✓✓	•	•
Fréquence de clignement de l'œil	•	•	•	✓✓
Fraction de fixation de l'œil				✓✓
Subjective				
Echelle de Cooper-Harper	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Echelle WCI/TE	✓✓✓		✓✓	✓✓
Echelle multi-description		✓	✓✓	•

Tableau 2.1 : Evaluation de la charge de travail mental (tiré de [JOR 99])

2.2.1.3. Contrôle Explicite

Il comprend la prise en compte des actions explicites de l'utilisateur ainsi que la gestion de son contrôle sur le traitement de ses actions. La conséquence en est la baisse du nombre d'ambiguïtés et l'amélioration de l'acceptation du système.

Avec le critère *Actions Explicites*, le système doit exécuter seulement les opérations demandées par l'utilisateur et pas d'autres et ce, au moment où il les demande. Par exemple, l'entrée de commandes doit se terminer par une indication de fin (ex : ENTER, OK).

Le deuxième critère est le *Contrôle Utilisateur*. Cela signifie que l'opérateur peut à tout instant reprendre le contrôle des événements. On peut ainsi autoriser l'utilisateur à interrompre à tout moment une action ou un traitement en cours (ex : annuler).

2.2.1.4. Adaptabilité

Ce critère correspond à la faculté qu'a l'interface de réagir selon le contexte et les besoins des utilisateurs. On utilise donc les notions de flexibilité et de gestion de l'expérience des utilisateurs.

La *Flexibilité* est la personnalisation de l'interface de travail par chaque utilisateur, prenant en compte ses besoins et ses habitudes. Ainsi quand certains affichages sont inutiles, les utilisateurs doivent pouvoir les désactiver temporairement.

La *Prise en compte de l'expérience de l'utilisateur* permet de différencier le novice de l'expérimenté pour modifier en conséquence les informations qui lui sont apportées. Par exemple, on peut autoriser les utilisateurs expérimentés à contourner une série de sélections par menu, soit en formulant directement des commandes, soit par raccourci clavier.

2.2.1.5. Gestion des Erreurs

Cette notion rassemble les moyens de réduire ou d'éviter les erreurs, et dans le cas où elles se produisent, de faciliter leur compréhension et donc leur élimination. Les erreurs sont principalement dues à une mauvaise saisie.

Le premier critère est la *Protection contre les Erreurs*. Il s'agit des moyens mis en oeuvre pour détecter et prévenir les erreurs d'entrées de données ou de commandes ou d'actions aux conséquences néfastes. Ainsi quand les utilisateurs terminent une session et qu'il y a un risque de perte de données, il doit y avoir un message le signalant et demandant confirmation de fin de session.

La *Qualité des messages d'erreurs* concerne la pertinence, la facilité de lecture et l'exactitude de l'information donnée aux utilisateurs sur la nature des erreurs commises et sur les actions à entreprendre pour les corriger. On doit utiliser des messages d'erreur aussi brefs que possible.

Enfin la *Correction des Erreurs* suggère un ensemble de moyens permettant à l'utilisateur de corriger ses erreurs comme la possibilité de "défaire" la dernière action réalisée qui est la cause de l'erreur.

2.2.1.6. Homogénéité / Cohérence

Ce critère fait référence au fait que pour les mêmes contextes, on ait une interface identique. Par exemple, on doit avoir des formats d'écrans similaires.

2.2.1.7. Signifiante des Codes et Dénominations

Chaque code doit être facilement traduisible et permettre de retrouver le terme originel. Ainsi par exemple, les titres doivent véhiculer ce qu'ils représentent, et être distincts.

2.2.1.8. Compatibilité

Ce terme fait référence au lien étroit entre la tâche à effectuer et les caractéristiques mentales et physiques de l'utilisateur, d'une part, et l'organisation des moyens de communication Homme/Machine, d'autre part. Il concerne aussi le degré de similitude entre différents environnements et contextes. Par exemple, les procédures de dialogue doivent être compatibles avec l'ordre tel que se l'imagine l'utilisateur, ou l'ordre dont il a l'habitude.

Ces critères ont été utilisés lors d'évaluation d'interfaces utilisateurs et cela a permis de vérifier leurs intérêts [BAS 94][SCA 96].

2.2.2. Critères ergonomiques selon BALZERT

D'après BALZERT [BAL 87], le but principal de l'ergonomie est de rendre le travail humain et efficace. Pour ce faire, il propose d'utiliser quatre critères pour modéliser les besoins :

1. Elimination du danger mental et physique.
2. Elimination des handicaps physiques et mentaux.
3. Acceptabilité.
4. Développement de la personnalité de l'utilisateur.

Les deux derniers critères regroupent en fait plusieurs notions que nous allons décrire dans les paragraphes suivants.

2.2.2.1. Acceptabilité

Elle est définie en majeure partie par les standards sociaux et culturels. Cette notion garantit le fait que le système emploiera les multiples talents des utilisateurs, qu'il y aura transparence du travail et que l'allure de travail sera flexible.

L'emploi des talents multiples permet à l'opérateur d'utiliser alternativement une grande variété de ses talents (physiques et mentaux) pour mener à bien sa mission.

La transparence du travail signifie que l'utilisateur comprend parfaitement les actions que le système réalise, pour lui permettre de reconnaître un changement possible dans les objets utilisés ou les éléments de l'opération.

Il faut de plus une *allure de travail flexible*. La vitesse d'exécution sera toutefois minorée par une certaine valeur limite. Cette valeur sert à définir un seuil minimal pour la productivité de l'opérateur.

2.2.2.2. Développement de la personnalité

On doit donner à l'utilisateur la possibilité d'apprendre et de développer ses talents professionnels ainsi que ses habitudes de travail. Il faut aussi laisser à l'utilisateur la possibilité de développer ses stratégies et/ou tactiques. De plus, il doit pouvoir changer ses procédures de travail selon ses besoins individuels. Le système doit être autonome permettant ainsi à l'utilisateur de concevoir sa propre procédure d'opération indépendamment des limites spécifiques de l'organisation de travail. On peut prendre également en compte la notion d'intégralité. Cela signifie que l'opérateur peut exécuter une tâche avec l'aide de l'interface pris comme une unité de planification, réalisation et inspection. Un autre critère est le concept d'économie de travail (nombre d'actions minimal). On peut envisager aussi la création d'un dispositif assistant l'opérateur dans la communication/coopération professionnelle pendant l'exécution de son application ce qui rend possible la communication avec les autres systèmes d'application. Enfin on peut réaliser un système permettant de rendre possible les initiatives de l'opérateur lorsqu'il exécute une application/opération. Il faut de plus que le système s'adapte aux qualifications existantes.

2.2.3. Critères ergonomiques selon COUTAZ

On trouve dans COUTAZ [COU 90] une description des critères fondamentaux pour la réalisation d'interfaces ergonomiques ; ces critères sont associés à des moyens pratiques pour améliorer les interactions homme-machines.

2.2.3.1. Cohérence

Ce principe repose sur la notion d'absence d'exceptions. Son champ d'action englobe toutes les étapes de réalisation d'une tâche (planification, exécution, perception et interprétation).

Il comprend d'abord le *choix d'une métaphore d'interaction*. La métaphore est très utile pour l'opérateur novice qui peut l'utiliser pour initialiser son modèle mental en rattachant une notion nouvelle à une image connue [SEI 87]: par exemple sous Windows, le répertoire est représenté par un dossier. Il existe deux types de métaphores : la première tend à reproduire en miniature l'environnement réel de travail comme l'environnement Windows et la seconde consiste à imiter le langage naturel en manipulant des structures linguistiques comme par exemple dans le DOS [HUT 86].

La *spécification du plan* : soit une fonction f commune à deux ou plusieurs tâches, il faut que le séquençage des actions à accomplir pour réaliser f , soit identique pour toutes ces tâches. Ainsi quel que soit la situation dans l'exploitation du système, les étapes de réalisation d'une tâche spécifique sont identiques et constantes.

Pour l'exécution, on dénombre trois niveaux. Dans l'aspect *syntactique* on rencontre le problème de l'ordre des arguments de la ligne de commande. Il y a trois solutions envisageables : Postfixé (" Objet Verbe " \Rightarrow langage de type iconique), Préfixé (" Verbe Objet " \Rightarrow langage de type textuel) et Libre (les deux sont acceptés et c'est le système qui le gère selon la situation rencontrée). Au niveau *lexical*, on doit choisir une nomenclature qui tend à se rapprocher au maximum du vocabulaire de l'utilisateur. Les termes doivent donc être précis, pertinents et non équivoques. Enfin dans l'aspect *pragmatique*, l'étude se porte ici sur l'organisation et la représentation spatiale des informations à l'écran. Ainsi chaque type d'information doit être là où l'utilisateur l'attend pour qu'il puisse anticiper les actions physiques. L'exemple le plus connu concerne la ligne des menus de Windows.

2.2.3.2. Concision

Ses deux effets sont d'éviter les surcharges d'information de sortie et de réduire le nombre d'actions physiques nécessaires à la spécification des expressions d'entrée. Les moyens mis en oeuvre le plus fréquemment pour arriver à ces résultats sont les suivants :

Les *abréviations*, surtout utiles pour les utilisateurs expérimentés, doivent être compréhensibles. Cela veut dire que leur création dépend de quatre règles : la nécessité d'un caractère spécial suivi de la lettre initiale de la commande, la suppression des voyelles, la troncature maximale et la troncature à deux lettres non ambiguës.

On peut également utiliser la *macrocommande*. Elle représente un ensemble de fonctions plus élémentaires et elle est symbolisée par un code mnémonique pour les utilisateurs expérimentés.

Les services *Couper-Coller* permettent de reproduire les informations, de suppléer au manque d'intégration des outils de production d'informations.

La *Valeur par défaut* est une technique qui a comme intérêt d'éviter les répétitions de saisie et de proposer des valeurs sémantiquement correctes. Cette valeur est de deux types. Elle peut être dynamique et, dans ce cas elle est automatiquement réévaluée et mémorisée pendant l'exécution. Le système la gère. Le deuxième type est semi-statique. Dans ce cas, elle est modifiée d'après les demandes de l'utilisateur (cases à cocher de la boîte des options des progiciels Windows). Cela permet ainsi de personnaliser l'interface.

Enfin le dernier moyen est le *service Défaire-Refaire*. *Défaire* est utilisé dans la réparation des erreurs en éliminant la dernière action réalisée par l'utilisateur, tandis que *Refaire* permet de diminuer le nombre d'actions physiques. Une idée intéressante serait que l'on puisse remonter l'ensemble des actions réalisées avec *défaire* et ensuite pouvoir reprendre ce qui a été fait avec *refaire*. On arrive à ce stade à la notion de service historique [LIE 87].

2.2.3.3. Retours d'Information

Le retour d'information est une réaction du système aux actions de l'utilisateur. Il est dit informatif et immédiat si les variables psychologiques de l'utilisateur (ses centres d'intérêt) trouvent leurs correspondants dans les variables physiques de la représentation visuelle de l'interface. Le retour d'information a plusieurs avantages.

On peut informer pour *rassurer*. Cette fonction est très utile dans le cas où la durée de réalisation d'une fonction est assez importante comme pour une compilation ou une décompression. Le risque que l'opérateur arrête manuellement l'exécution se trouve donc amoindri.

On peut aussi informer pour *réduire la charge cognitive*. Le rôle du système est de palier le manque de mémoire à court terme de l'utilisateur en lui fournissant plusieurs services tels que le rappel du contexte de travail, la navigation (repérage dans l'espace de travail comme par exemple les systèmes "hypertextes") ou la présentation des options.

Enfin le retour d'information permet la *détection des erreurs* et donne la possibilité d'y apporter des remèdes. En fait la détection de l'erreur est déclenchée par le caractère immédiat du retour d'information, tandis que la détermination de la cause dépend de la qualité des informations renvoyées. Pour ce qui est de la réparation, on utilise les fonctions comme *Défaire et Refaire*.

2.2.3.4. Structuration des activités

Cette notion signifie que l'on adapte l'environnement de travail aux compétences de l'utilisateur. Les méthodes peuvent être regroupées en trois classes.

La *technique des "roulettes de sécurité"*, élaborée par CARROLL [CAR 84] vise à grouper les fonctions d'un système en niveaux de complexité. Chaque niveau définit des garde-fous cognitifs. Ainsi lorsque l'opérateur utilise sans difficulté les fonctions associées à son niveau, il peut passer au niveau supérieur et avoir ainsi accès à de nouvelles fonctions.

La deuxième technique consiste à *structurer le fond*. Le but est de créer une hiérarchie d'environnements. Ils se distinguent les uns des autres par les fonctions et le contexte qui leur sont associés. En haut de cette hiérarchie, il doit y avoir les fonctions fondamentales, celles qui sont le plus souvent usitées. Il faut donc qu'elles soient aussi les plus simples d'emploi et de compréhension.

Enfin on peut aussi y parvenir par la *structuration de la forme* de l'environnement de travail. Dans les cas où le retour d'informations est important, il faut obligatoirement

structurer la forme pour réduire la charge cognitive, tout en augmentant la compréhension de l'environnement. Il faut donc structurer la présentation des fonctions. Cela correspond à l'idée qu'il faut présenter les fonctions usuelles aux utilisateurs novices tout en occultant celles considérées comme évoluées, les laissant aux expérimentés. De plus, la structuration des menus est obligatoire lorsque le menu a un volume trop important. Enfin pour la structuration des messages, le problème est d'afficher une quantité suffisante d'informations tout en étant concis, tout cela dépendant forcément de l'utilisateur.

2.2.3.5.Flexibilité

La flexibilité d'une interface désigne sa faculté d'ajustement aux variations de l'environnement, et notamment à l'utilisateur. Cet ajustement peut être *automatique* (interface **adaptative**) ou *manuel* (Interface **adaptable**).

L'interface utilise les concepts de Intelligence Artificielle et des Sciences Cognitives. Dans l'interface adaptative, l'adaptation se fait par modélisation dynamique de l'opérateur, alors que l'interface adaptable ne se modifie que par la volonté de l'utilisateur, ce qui correspond plus à une personnalisation de l'interface.

Les quatre notions suivantes montrent selon COUTAZ la supériorité de l'interface adaptable sur l'interface adaptative :

- Grâce aux *réparations lexicales*, l'utilisateur peut modifier la terminologie, les touches raccourcis ou les textes des messages d'erreurs sans avoir besoin de modifier le programme avec l'aide d'un informaticien.
- On peut également personnaliser les fichiers de configuration avec les *valeurs par défaut*.
- On trouve aussi le *choix sur l'initiative du dialogue*. Ainsi lorsque l'utilisateur est novice, il est préférable qu'il se laisse guider. Arrivé à un niveau de compétence élevé, l'initiative pourra alors changer de camp.
- Enfin nous pouvons obtenir la restitution d'informations par des *représentations multiples*. Si nous prenons l'exemple de l'affichage d'une courbe, il y aura deux représentations : graphique avec la courbe elle-même et alphanumérique avec l'affichage des valeurs réelles. On conçoit que chaque représentation a des qualités expressives et sert d'instrument à la réflexion [TUF 83]. Il y a deux techniques de base pour les représentations multiples : soit associer plusieurs objets de présentation à un concept donné, chaque objet ayant sa puissance d'expression et venant compléter la compétence des autres, soit produire des variations sur une forme de base unique.

Nous développerons ces concepts plus en détail dans le chapitre trois.

2.2.4. Concepts Ergonomiques pour l'Aménagement de l'Interface Graphique Homme-Machine

Les études menées par KOLSKI sur les salles de contrôle lui ont permis de dégager certains concepts spécifiques venant en complément des critères généraux décrits précédemment [KOL 97]. Ce sont ces concepts que nous allons présenter ci-dessous.

2.2.4.1.Limites et démarches de l'opérateur en salle de contrôle.

Chaque opérateur a un potentiel mental limite qui lui est propre. Ce potentiel influe directement sur la quantité d'informations qu'il peut emmagasiner sans pertes importantes. Mais ses performances sont fortement liées à différents critères comme son état cognitif, psychologique, physiologique et émotionnel, entre autres. Il en découle que la volonté de n'afficher à l'écran que les valeurs pertinentes pour la tâche, ne peut qu'augmenter les performances de l'opérateur. En effet, il lui sera plus facile de se créer une image opérative en n'ayant accès qu'aux données importantes que s'il avait du faire son choix parmi l'ensemble des informations disponibles.

Cette notion d'image opérative peut se rapprocher des trois modes de comportement dégagés par RASMUSSEN [RAS 86] : le comportement *tactique* basé sur des actions quasi-reflexes visant à corriger l'événement perçu, le comportement *basé sur les règles* utilisé par l'opérateur lorsqu'il se trouve face à une situation connue, enfin le comportement *stratégique* correspondant à des situations inhabituelles qui l'obligent à mener un raisonnement sur le processus.

RASMUSSEN a de plus modélisé la démarche de résolution de problème par l'opérateur. Ce modèle qualitatif comprend quatre étapes séquentielles de traitement d'information. La première étape est la détection d'événement anormal, ensuite, il faut évaluer la situation de façon à identifier l'état du procédé, après la définition d'une stratégie de correction, on exécute les actions. Notons que ce modèle a été étendu par HOC et AMALBERTI, dans un but de prise en compte de la composante dynamique [HOC 95].

2.2.4.2.Concepts généraux orientés vers l'aménagement dynamique.

Les interfaces dédiées à la surveillance affichent des valeurs dynamiques. Il faut donc pouvoir modifier la forme et le fond de l'interface selon l'évolution de ces valeurs.

Le concept d'*information pertinente* signifie que chaque information reçue par l'utilisateur doit être adaptée à la tâche en cours de réalisation. Cela permet d'éviter une surcharge mentale de l'opérateur, surtout si les informations renvoyées sont du type alarme. Dans ce but, VITTET [VIT 81] a proposé plusieurs idées. Il faut par exemple donner à l'opérateur une perception globale du système à partir d'informations fiables et facilement compréhensibles. On peut aussi fournir à l'opérateur des informations sur l'évolution du système et surtout des indicateurs de changement d'état : les alarmes. De plus, les réponses du système aux actions de l'opérateur devront être en quasi temps réel. Enfin, il faut fournir une aide adaptée à la tâche. Dans le cas des interfaces graphiques, cette notion peut être accentuée par une succession adéquate des vues en fonction des tâches du robot.

Le problème de l'alarme est assez épineux. En effet, lorsqu'un problème apparaît, plusieurs alarmes peuvent se déclencher. L'opérateur peut être dans l'incapacité de déterminer quelle est l'alarme génératrice des autres [DAN 86]. On peut aussi se trouver dans le cas d'une alarme oscillante. Cela signifie qu'un paramètre oscille autour de la valeur de seuil et il y a donc succession d'alarme et de disparition de cette alarme.

Pour pouvoir prévoir l'évolution du système, on doit l'avoir modélisé et connaître les valeurs de ses différents critères de façon dynamique et avec un temps de réponse le plus court possible [WAN 87]. Ces *prévisions* seront remises à jour après chaque observation.

On doit pouvoir aussi *contrôler les entrées réalisées par l'Opérateur*. En effet, la majorité des erreurs produites par l'utilisateur se situe au niveau de la saisie des données d'entrée. Le but est donc de simplifier au maximum ces tâches. Cette idée est réalisable à plusieurs niveaux. Tout d'abord cela consiste en la vérification des commandes et à leur comparaison avec le didacticiel. Le deuxième niveau est la minimisation du nombre d'actions réalisables sur un type de contexte de travail.

La *prise en compte du degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur* est aussi une notion importante. D'après SCAPIN [SCA 86], l'interface doit s'adapter, d'une part à l'évolution des connaissances de l'utilisateur sur les tâches qu'il doit réaliser, d'autre part à sa meilleure compréhension du système lui-même. On pourrait donc classer l'utilisateur selon son niveau d'expérience et de connaissance des tâches et de l'interface. VALENTIN et LUCONGSANG [VAL 87] ont proposé la classification suivante :

<i>base</i>	: l'opérateur est guidé par des exemples.
<i>novice</i>	: il est guidé par des menus et utilise les fonctions de base.
<i>intermédiaire</i>	: il peut utiliser un langage de commande avec un guidage syntaxique et sémantique.
<i>expert</i>	: il a la possibilité d'utiliser toutes les fonctionnalités du système.
<i>maître</i>	: il peut créer ses propres fonctions.

Les temps de réponse de l'interface sont fondamentaux. Par définition, on considère comme temps de réponse, "le temps qui s'écoule entre la dernière commande lancée par l'opérateur et l'apparition de la première entité informationnelle nouvelle sur l'écran". D'après des études de MILLER [MIL 68], il ne devrait pas dépasser quatre secondes. Pour BARTHET [BAR 86], un temps de réponse idéal doit être inférieur à deux secondes. Entre deux et quatre secondes, l'opérateur risque d'avoir une sensation d'attente mais aucune autre répercussion n'est attendue. Enfin si le retard est supérieur à quatre secondes, il risque d'avoir une mémorisation autre qu'à court terme : on devra alors utiliser des messages visuels ou auditifs pour permettre à l'utilisateur de se rappeler des informations pertinentes.

2.2.4.3. Concepts ergonomiques pour l'aménagement statique de vues graphiques

Après une présentation de recommandations en liaison avec l'aspect dynamique des informations, nous devons aborder différentes règles à utiliser pour aménager la partie statique de l'affichage.

2.2.4.3.1. Codage de l'information

Il faut coder l'information, ce qui permet de diminuer la charge mentale de l'opérateur en diminuant la quantité d'informations à assimiler [KEY 80]. Le problème d'une compréhension correcte et rapide de ces codes se pose alors. Pour le codage, quatre techniques sont très usitées.

La première est le codage *alphanumérique*. C'est le plus utilisé car il possède une capacité quasiment illimitée de combinaisons de caractères. Ces combinaisons doivent être en rapport avec les aptitudes de l'opérateur, le domaine de la mission et les concepts de lisibilité de l'information.

Dans le codage *coloré ou chromatique*, la couleur permet principalement à l'utilisateur d'augmenter sa confiance dans le système [CHR 75]. Mais son action doit être modulée selon

l'environnement de travail et la mission à effectuer [CHR 83]. En effet, la tâche influence l'efficacité du codage coloré. Selon les études, le nombre de couleurs différentes doit varier entre 4 et 10 [CAI 86]. Mais cela dépend du type de la tâche (rechercher, attirer,...) et du niveau de densité informationnelle de l'affichage. Pour ce qui est des stéréotypes de perception des couleurs, pour les occidentaux [FIS 85] : le rouge représente un danger ou une alarme, jaune un besoin d'attention et vert une situation normale. Le problème des contrastes colorés se pose également. Il faut savoir que certaines séquences de couleurs peuvent provoquer une gêne visuelle qui peut se produire sous la forme de battement de l'oeil chez l'opérateur [LON 84]. Les études menées à ce sujet [SAL 83] ont eu comme conclusions qu'il fallait éviter les textes sur fond noir, que les caractères sombres sur fond clair sont plus efficaces que des caractères clairs sur fond sombre, et qu'il faut que les séquences de couleurs soient en rapport avec les informations affichées. Bien sûr, il faut de plus ne pas oublier le problème de la mauvaise perception des couleurs par certains individus [VAL 87].

On peut également employer ensuite le codage par *attribut vidéo*. Les trois techniques utilisées sont le codage par intensité, inversion vidéo et clignotement. Mais au vu de l'étendue de leur action, il est préférable de prendre en compte les recommandations suivantes [COR 85] : l'intensité ne doit pas concerner plus de 10% de l'affichage et ne doit pas prendre plus de deux niveaux : normal et élevé ; l'inversion vidéo peut provoquer un effet d'éblouissement si elle est trop souvent utilisée, la fréquence du clignotement doit se situer dans la bande [3Hz, 5Hz]. Etant donné sa propension à fatiguer l'opérateur, son utilisation est à réserver aux messages prioritaires non acquittés d'alarmes [DAN 86].

On peut aussi utiliser le codage *symbolique par distinction de forme ou de taille*. La forme sert pour la recherche visuelle et l'identification. D'après [COR 85], le nombre recommandé de symboles différents est de cinq. Pour l'identification par taille, il faut limiter à trois le nombre de tailles possibles.

On peut également rencontrer deux autres codages. Ce sont les codages mnémonique et icônique. Le codage icônique trouve un exemple dans le logiciel Windows. En effet, au niveau de l'Explorateur Windows, chaque type de fichier a son icône le représentant. Ainsi, un aperçu rapide d'une liste de fichiers permet de connaître les extensions de chaque fichier. Pour le codage mnémonique, on utilise des abréviations exprimant certaines fonctionnalités du système.

2.2.4.3.2.L'organisation et la structuration de l'information

Ces notions sont très utiles pour favoriser l'identification, la compréhension, la mémorisation et la hiérarchisation des informations.

Le premier domaine d'organisation est le *format d'écran*. Actuellement, la tendance est l'affichage multi-fenêtrage [KOW 86] qui se présente selon le principe visible en figure 2.7.

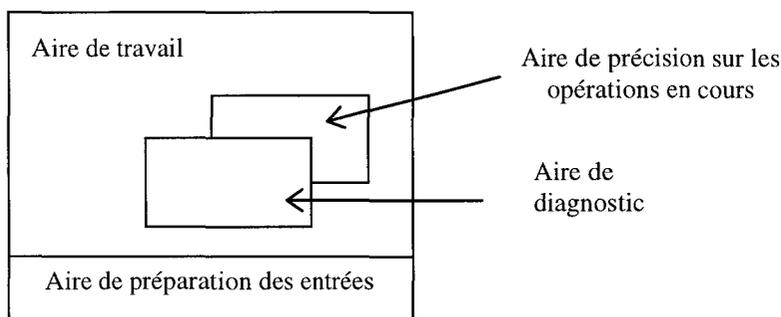


Figure 2.7 : Organisation du type multi-fenêtrages

Il faut également structurer le format de *présentation de données*. Employé pour accroître la perception de l'information, il peut présenter plusieurs formes : la constitution de blocs de données entourées de cadres ou d'espaces [COC 84], le choix d'une courbe au lieu d'un tableau de valeurs numériques, l'utilisation de couleurs pour le guidage de l'opérateur dans le système, l'agrégation et la scission de données ou le groupement des items et données en interrelation [STE 76].

Au niveau *organisation spatiale de données importantes*, il en découle deux stratégies. Tout d'abord, il faut placer les données les plus importantes en haut à gauche, ou dans la partie centrale si l'écran est peu chargé. Puis, ensuite, on doit placer les données moins importantes en bas à droite.

2.2.4.3.3. La simplification et l'allégement des vues par la diminution de la densité d'information

Le problème inhérent à un affichage très dense, est l'augmentation du risque d'erreur, de confusion et du temps de localisation informationnelle avec l'apparition possible chez l'opérateur de troubles visuels [CAI 86]. Il faut donc simplifier au maximum les affichages tout en conservant les données pertinentes. Mais cette étude doit se faire sur deux plans : surfacique et cognitif.

La densité *surfacique* correspond à la surface occupée par l'information graphique par rapport à la capacité de contenance de l'écran définie par la hauteur, en pixels, par rapport à la largeur, en pixels. Elle peut être classifiée selon deux ensembles de critères : tout d'abord globale/locale et ensuite statique/dynamique/totale [TUL 83].

La densité *cognitive* correspond à la quantité d'information présentée à l'opérateur sur une partie de l'écran.

En ce qui concerne les concepts visant à *diminuer la densité d'information d'une vue graphique*, si l'on prend en compte le critère dynamique/statique, on obtient les règles suivantes [CUS 84] : il faut développer une hiérarchie des besoins en information et afficher seulement les informations de première nécessité, puis on doit utiliser des codages pour mettre plus de données sur l'écran sans perte d'espace, tout en évitant l'augmentation de la difficulté de compréhension, ensuite, l'utilisation des courbes pour l'affichage de données dynamiques est recommandée, enfin pour différencier les blocs d'information, on doit employer des couleurs. Pour la densité surfacique, on peut proposer les règles suivantes : il faut éviter de trop sophistiquer l'interface pour éviter les détails inutiles qui rendent l'information difficilement compréhensible ; ainsi, les représentations graphiques doivent être schématisées au maximum par exemple. Un compromis dans les tailles respectives des informations statiques et dynamiques est indispensable. Enfin il faut éviter une trop grande utilisation de surfaces colorées qui peut avoir comme conséquence de distraire l'opérateur.

2.2.5. Technique du Fenêtrage

Ces techniques sont résumées dans [KOW 86]. Selon Georges MILLER [MIL 68], les opérateurs ont une préférence pour le repérage spatial des informations. De plus, ce repérage devra utiliser des indices d'organisation spatiale habituellement utilisés dans la vie courante (comme par exemple les dossiers dans WINDOWS).

Le problème du choix de présentation des informations affichées à l'écran se pose : doit on les présenter étalées ou concentrées [VEZ 74]?

2.2.5.1. Découpage de l'écran.

MILLER et THOMAS [MIL 77] ont proposé une décomposition de l'écran en quatre zones : l'aire principale de travail, l'aire de préparation des entrées, l'aire de consultation dans laquelle sont précisées les opérations du système en cours, enfin l'aire de diagnostic.

Ces zones peuvent être regroupées en deux ensembles. Tout d'abord, le découpage permanent se compose de l'aire principale de travail ainsi que de l'aire de préparation des entrées. Le deuxième ensemble se nomme affichage superposé par fenêtrage, il est constitué de l'aire de diagnostic ainsi que de l'aire de consultation.

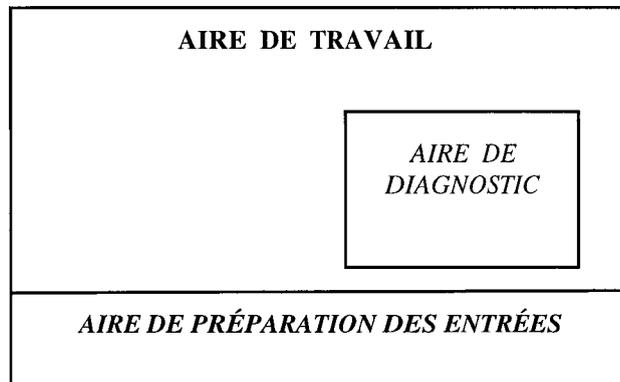


Figure 2.8 : Découpage de l'écran en différentes aires

Le terme de superposé signifie que, lorsque la situation l'exige, ces aires se superposent aux aires de découpage permanent comme le montre la figure 2.8.

2.2.5.2. Présentation étalée.

Ici, chaque élément est décrit en détail avec des exemples, des répétitions, des éléments informatifs plus secondaires. Cela a comme conséquence que chaque information est assimilée indépendamment des autres d'où la difficulté de synthétiser les informations et donc d'en déduire des enseignements profitables.

2.2.5.3. Présentation concentrée.

Grâce à la concentration, on favorise la vue d'ensemble, l'accentuation des relations existant entre chaque élément d'information. VEZIN pose trois procédés de concentration [VEZ 74].

La *condensation* correspond aux concepts d'abréviation et de codage de l'information dans le but de réduire l'information à l'écran, mais aussi les lignes de commande que doit formuler l'utilisateur pour exécuter une action. Le défaut de ce choix de présentation est que les informations risquent de devenir plus inaccessibles aux novices. C'est à l'opposé du concept de langage naturel.

Un autre procédé est la *centration*. Ce procédé a la volonté de porter l'attention de l'utilisateur sur les parties importantes de l'interface. On peut pour cela utiliser deux techniques : soit organiser des informations par thèmes ou soit utiliser des stimuli permettant

de concentrer l'attention de l'opérateur. Cela va des couleurs, alarmes visuelles et/ou sonores au soulignement ou au changement de style des caractères de l'information.

Le troisième procédé est la *concision*. Il s'agit de faire un choix parmi les différents éléments exprimant la même idée. En somme, le but de cette technique est d'extraire de l'amas de données les informations pertinentes.

2.2.6. Autres critères ergonomiques selon le point de vue des Opérateurs

On peut également aborder le problème de la conception en s'intéressant au point de vue des opérateurs [NOT 86].

2.2.6.1. Les principales causes des problèmes des opérateurs.

Le rôle principal des opérateurs est de superviser le système afin d'en maintenir l'équilibre. Pour ce faire, ils ont besoin de connaître à tout instant l'état du système. Les informations qui leur sont fournies doivent par conséquent être claires, cohérentes et en quasi temps-réel. L'inconvénient est que ces critères ne sont que souvent partiellement atteints. Cela est dû aussi bien à la masse trop importante de données, qu'à leur hermétisme ou à la vitesse de travail trop faible du système.

Dans le cas où les processus sont fortement automatisés, les informations revêtent un caractère abstrait pour l'opérateur qui a des problèmes pour transcrire ces données en informations concrètes au niveau de l'installation. De plus, lorsque le système a besoin pour sa fonction de contrôle de disposer d'un ensemble de données hétérogènes (de natures et/ou d'origines diverses), il y a apparition au niveau de l'interface d'une image morcelée et donc peu cohérente. Ce problème apporte une mauvaise vision et une mauvaise interprétation de l'environnement de travail par l'opérateur. De plus, les critères des concepteurs ne sont pas toujours semblables à ceux des utilisateurs du système. Il faut donc toujours intégrer dans la conception de l'interface des notions d'adaptabilité par rapport au domaine d'intervention ou par rapport à l'opérateur lui-même. Enfin l'ergonomie doit être utilisée à tous les niveaux de la réalisation.

GUILLEVIC et BENAZET [GUI 86] proposent quatre perturbations possibles de l'activité de l'opérateur dans le cas d'un changement de système : le *blocage* (le nouveau système utilise des fonctions inconnues de l'opérateur), le *conflit* (les nouvelles fonctions contredisent celles de l'ancien système), la *carence* (certaines fonctions très utilisées de l'ancien système sont absentes dans le nouveau) et enfin la *surcharge* (de nouvelles fonctions apparaissent et se surajoutent aux anciennes, donnant l'impression d'un nombre trop important de commandes disponibles).

Les solutions à ces problèmes consistent en une formation-adaptation de l'opérateur dans le cas des deux premières perturbations et une modification des caractéristiques du système technique pour les deux dernières.

2.2.6.2. Evaluation des informations.

Les opérateurs cités souvent quatre critères pour évaluer les informations fournies par le système. Ce sont le *volume*, la *concentration*, la *présentation* et l'*accès*.

Nous pouvons donc en déduire que pour les opérateurs, l'essentiel se trouve être la fréquence d'apparition et la facilité d'accès à l'information.

Le *volume* d'informations est crucial. Il faut absolument traiter le débit d'informations pour essayer d'éviter les écueils tels que les informations *excédentaires* (inutiles au bon fonctionnement du système, elles ne font que rendre moins lisible l'interface en empêchant l'utilisateur de se focaliser sur les informations pertinentes), *inaccessibles* (informations peu détaillées ou masquées par d'autres données moins cruciales, ou qui ne se trouvent pas à l'endroit désiré) ou *incompréhensibles* (la cause principale est le codage mal adapté, c'est-à-dire que son interprétation est variable selon l'état du système ou selon l'opérateur). Enfin le plus problématique est l'idée que des informations importantes ne sont pas utilisées par les opérateurs car ils n'ont pas la connaissance nécessaire pour les comprendre.

Un autre critère important est la concentration de l'information. Les opérateurs ont tendance en général à rechercher une flexibilité dans la sélection et l'interprétation des informations. Elle serait de plus fonction de la tâche à réaliser, de l'expérience de l'utilisateur et du système lui-même.

Dans la situation où le mode de conduite est automatique, la tâche de l'opérateur est de surveiller le bon fonctionnement du système et d'anticiper les pannes si possible, sinon de les corriger. Cette tâche peut-être facilitée par l'expérience (stratégie empirique) ou par l'utilisation de bases de données pour trouver les causes possibles de l'incident (stratégie symptomatique). Cette dernière stratégie utilise quatre types d'approches interactives. L'approche *topographique* vise à visualiser des événements de manière locale et géographique. L'approche *chronologique* intègre elle les phénomènes tels que succession, interprétation, apparition en fonction du temps, tandis que l'approche *fonctionnelle* met en parallèle des phénomènes d'action / réaction liés au fonctionnement du système. Enfin l'approche *analogique* compare les phénomènes similaires pour en tirer les règles transposables.

La *présentation de l'information* est aussi un élément clef. En effet, la majorité des opérateurs ont besoin de graphisme pour obtenir des renseignements sur l'ensemble du processus ou sur l'évolution temporelle des paramètres. Ainsi, l'avantage est plus aux représentations mimétiques que fonctionnelles car cela apporte une plus grande transparence au système.

Enfin il faut considérer l'*accès à l'information*, c'est-à-dire le dialogue homme-machine. Les trois critères fournis par les opérateurs au sujet du dialogue sont les suivants : la *vitesse*, l'important est que les questions posées obtiennent une réponse en quasi-temps réel. Cela dépend par conséquent énormément de l'organisation du dialogue homme-machine au niveau de l'interface (touches de raccourcis, macrocommandes, ...), la *flexibilité*, il faut pouvoir circuler de façon souple à l'intérieur de l'interface par l'utilisation de commandes compréhensibles et adaptables. La notion de *convivialité* correspond à la prise en compte des stéréotypes humains. On l'utilise principalement dans trois situations. Dans la phase de démarrage où l'opérateur est stressé et peu expérimenté, le dialogue doit être adapté et donner l'initiative au système. Dans la phase d'incidents graves, l'opérateur est stressé et attend du système qu'il l'aide à trouver la cause de l'incident et la façon de le corriger. Enfin il y a la phase où l'opérateur est expérimenté et familiarisé au processus et au système, à ce stade d'évolution, le dialogue doit être plus abstrait. On peut ainsi utiliser un codage ou un langage de commande plus symbolique,...

Nous avons présenté un ensemble de critères utilisés dans la conception d'interfaces homme-machine (IHM). Ils ont pour but de permettre une réalisation adéquate de l'interface dans le but final de réduire la charge cognitive de l'opérateur humain.

Après avoir présenté les différentes règles d'ergonomie que l'on peut appliquer lors de la création d'une I.H.M., nous détaillerons dans le chapitre suivant le concept d'interface homme-machine « adaptative ».

CONCLUSION DU DEUXIEME CHAPITRE

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté les différents types d'interface susceptibles d'être utilisées en Téléopération. Nous avons pu apprécier l'étendue de ce domaine et l'importance de la recherche qui s'y intéresse. L'interface n'est plus une simple fenêtre peu lisible et peu conviviale, mais au contraire elle tend à devenir un lien quasi-naturel entre l'homme et la machine. Ainsi cherchons nous des moyens de l'évaluer, de l'optimiser par l'utilisation de nouvelles sciences comme l'ergonomie logicielle, la cognition.

De ces descriptions, il se dégage que l'interface dite adaptative apparaît être le meilleur choix pour disposer à tout instant les informations pertinentes.

Ensuite, nous avons présenté différentes règles d'ergonomie susceptibles d'être utilisées dans des interfaces employées dans le cadre de la Téléopération. En effet, le choix des informations pertinentes est un point crucial. Mais la façon de les afficher en est un autre.

Dans la troisième partie, nous allons développer la notion d'interface adaptative ainsi que la présentation de la technique de modélisation des informations utilisée dans ce mémoire.

RÉFÉRENCES

Chapitre 2 : Ergonomie et Interfaces Intelligentes

- [AMA 92] **R. AMALBERTI et F. DEBLON**, " Cognitive modeling of fighter aircraft process control : a step towards an intelligent onboard assistance system ", *International Journal of Man-Machine Studies*, 36(5).
- [BAL 87] **H. BALZERT**, « Objectives for the humanization of software - a new and extensive approach », *Human-Computer Interaction - INTERACT'87*, pp. 5-10.
- [BAR 86] **M.F. BARTHET**, « Conception d'applications conversationnelles adaptée à l'utilisateur », *Thèse de doctorat en informatique n°108*, Institut National Polytechnique de Toulouse, 21 Mars 1986.
- [BAS] **C. BASTIEN et C. COLAS**, « Modélisation de la tâche d'un opérateur », *Neurosciences et ergonomie cognitive*, pp. 329-339.
- [BAS 93] **J.M. C. BASTIEN and D.L. SCAPIN**, « Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces », *Rapport technique n°156, programme 3*, Juin 1993, INRIA Rocquencourt.
- [BAS 94] **J.M. Christian BASTIEN and D.L. SCAPIN**, « Evaluating a user interface with ergonomic criteria », *Rapport de recherche n°2326, programme 3*, Août 1994, INRIA Rocquencourt.
- [BOY 88] **G. BOY**, " Assistance à l'opérateur, une approche de l'intelligence Artificielle ", *Editions Tekna*, octobre 1988.
- [CAI 86] **F.CAIL**, " Présentation de l'information sur écran de visualisation ", *Revue bibliographique, Cahiers de notes documentaires, INRS*, n°23, 1986.
- [CAR 84] **J.M. CARROLL and C. CARRITHERS**, " Training Wheels in a User Interface ", *Comm. ACM*, vol. 27,8 (aout 1984), pp. 800-807.
- [CHR 75] **R.E. CHRIST**, " Review and analysis of color coding research for visual displays ", *Human Factors*, volume 17, n°6, pp. 542-570.
- [CHR 83] **R.E. CHRIST and G.M. CORSO**, " The Effects of extended practice on the evaluation of visual display codes. ", *Human Factors*, volume 25, n°1, pp. 71-84.
-

- [COC 84] **COCKERILL-SAMBRE**, " Prise en compte des facteurs humains dès la conception et l'installation de la coulée continue de la S.A. COCKERILL-SAMBRE- CHERTAL ", *Action Communautaire Ergonomique*, Recherche 107 247-11-026, Liège.
- [COR 85] **E.J. Mac CORMICK, M.S. SANDERS**, " Human factors in engineering and design, fifth edition ", *Mc Graw-Hill International Book Company*, New-York.
- [COU 90] **J. COUTAZ**, " Interface homme-ordinateur, conception et réalisation ", *DUNOD informatique*, 455 p, 1990.
- [CUS 84] **W.H. CUSHMAN, R.M. LITTLE, R.L LUCAS, R.E PUGSLEY and J.A. STEVENS**, " Equipment design ", *Ergonomic design for people at work*, by Eastman Kodak Company, Belmont (Californie), Lifetime Learning Publications, volume 1.
- [DAN 86] **F. DANIELLOU**, « L'opérateur, La vanne, l'écran, l'ergonomie des salles de contrôle », *Collection outils et méthodes*, 440p, avril 1986.
- [FIS 85] **H. FISCHER**, " Les usages sociaux de la couleur, pour une théorie sociologique des couleurs. ", *Cinquième congrès de l'Association Internationale de la Couleur*, Monte-Carlo, tome 2, juin 85.
- [GRI 95] **M. GRISLIN**, « Définition d'un cadre pour l'évaluation a priori des interfaces homme-machine dans les systèmes industriels de supervision », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°95.29*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 10 novembre 1995.
- [GUI 86] **C. GUILLEVIC, H. BENAZET**, " Essai de catégorisation provoquées par un nouveau système technique dans l'activité de l'opérateur ", dans " L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique ", Editions de l'Université de Bruxelles, pp. 184-198.
- [HUT 86] **E.L. HUTCHINS, J.D. HOLLAN, D.A. NORMAN**, " Direct Manipulation Interfaces, User Centered System Design ", *Lawrence Erlbaum Associates*, Publishers, pp. 87-124.
- [JOR 99] **A. H. JORGENSEN, A.H. GARDE, BJARNE LAURSEN and B.R. JENSEN**, « Mental Workload in IT Work : Combining Cognitive and Pshycological Perspectives », *HCI'99*, Munich (Germany), August 22-27, pp 97-101.
- [KEY 80] **V. De KEYSER**, " Etude sur la contribution que pourrait apporter l'ergonomie à la conception des systèmes de commande et d'alerte dans des industries de transformation ", *Rapport S/79/45*, volumes 1 et 2, Luxembourg.
- [KOL 95] **C. KOLSKI**, « Méthodes et modèles de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine », *Habilitation à diriger des recherches en spécialité Informatique*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 4 janvier 1995.
-

- [KOL 97] **C. KOLSKI**, " Interface Homme-Machine application aux systèmes industriels ", *HERMES* 97.
- [KOW 86] **Jean-Luc KOWAL**, « La technique du fenêtrage comme moyen facilitant le dialogue homme-machine dans un expérience d'une leçon de formation assistée par ordinateur », dans " L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique ", Editions de l'Université de Bruxelles, pp. 391-402 .
- [LIE 87] **H. LIEBERMAN**, " Reversible Object-Oriented Interpreters ", *ECOOP'87, the European Conference on Object Oriented Programming*, (June 1987), pp. 13-22.
- [LON 84] **T. LONG**, " Human Factors principles for the design of computer graphics displays. ", *British Telecom Technology Journal*, n°2, pp. 5-14.
- [MAN 93] **R. MANDIAU**, " Contribution à la modélisation des univers multi agents : génération d'un plan partagé ", *Thèse de Doctorat*, Université de Valenciennes, Février 1993.
- [MAS 92] **M. MASSON et V. DE KEYSER**, " Human errors learned from field study for the specification of an intelligent error prevention system ", *In S. Humar (Ed.), Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV*, pp. 1085-1092, Taylor&Francis.
- [MIL 68] **G.A. MILLER**, " Psychology and information ", *American Documentation*, 193, pp. 286-289.
- [MIL 77] **G.A. MILLER, G.C THOMAS**, " Behavioral issues in the use of interactive systems ", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol 9, n°5.
- [NOT 86] **D. NOTTE**, " Ergonomie - Applications informatiques dans les processus industriels continus : le point de vue des opérateurs ", dans " L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique ", Editions de l'Université de Bruxelles, pp. 391-402 .
- [SAL 83] **P. SALLIO**, " Utilisation des couleurs en technique vidéotex : cas des écrans textuels. ", *Radiodiffusion-télévision*, n°78, Editions IPF, Paris.
- [SCA 96] **D.L. SCAPIN et J.M. C. BASTIEN**, « Inspection d'interfaces et critères ergonomiques », *Rapport de recherche n°2901, thème 3*, Mai 1996, INRIA Rocquencourt.
- [SCA 86] **D. SCAPIN**, " Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. ", *rapport technique INRIA n°77*, Le Chesnay.
- [SEI 87] **M.K. SEIN, R.P. BOSTROM and L. OLFMAN**, « Conceptual models in training novice users », *INTERACT'87*, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 861-867.
- [SPE 80] **J.C. SPERANDIO**, « La psychologie en ergonomie », *Presses Universitaires France Le Psychologue*, 1980, 220p.
-

- [SPE 84] **J.C. SPERANDIO**, « L'ergonomie du travail mental », éditions Masson, 130 pp, 1984.
- [SPE 91] **J.C. SPERANDIO**, « Les méthodes d'analyse du travail en psychologie ergonomique », in J.P. ROSSI, Ed. La Recherche en psychologie, Domaines et Méthodes, Dunod, pp. 197-237, 1991.
- [STE 76] **T.F.M. STEWART**, " Displays and the software interface ", *Applied Ergonomics*, volume 7, n)3, pp.137-146.
- [TEN 92] **M. TENDJAOUI**, « Contribution à la conception d'interface « intelligente » pour le contrôle de procédés industriels : application au module décisionnel d'imagerie », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°92.20*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 20 novembre 1992.
- [TUF 83] **E.R. TUFTE**, " The Visual Display of Quantitative Information ", *Graphics Press*, Box 430, Cheshire, Connecticut 06410.
- [TUL 83] **T.S. TULLIS**, " The formatting of alphanumeric displays : a review and analysis.", *Human Factors*, n°25, pp. 657-682.
- [VAL 87] **A. VALENTIN, R. LUCONGSANG**, " L'ergonomie des logiciels. ", *ANACT*, Collection Outils et Méthodes, Paris.
- [VEZ 74] **J.F. VEZIN**, " Modalité de présentation des informations favorisant la vue d'ensemble. ", *Leur rôle dans l'apprentissage, le Travail Humain*, vol 37, n°1, pp. 73-92.
- [VIT 81] **J. VITTET**, " Eléments pour une conception intégrée des salles de contrôle.", *Thèse de Docteur Ingénieur*, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981.
- [WAN 87] **J.C. WANNER**, " Facteur humain et sécurité ", *Séminaire : erreurs humaines et automatisation*, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, 19-20 mai 1987.
- [WAW 94] **F. WAWAK, A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Fuzzy characterisation of the human operator for a decision support system in teleoperation », *13^{eme} European annual conference on Human-decision making and Manual Control*, ESPOO (Finlande), 13-14 juin 1994, pp. 156-165.
-

Chapitre 3

Adaptativité de l'Interface

Parmi l'ensemble des types d'interfaces intelligentes, notre choix s'est porté sur l'interface adaptative. Nous débuterons ce chapitre en définissant ce qu'est une interface adaptative. Nous évoquerons la différence entre adaptabilité et adaptativité. Cette présentation servira de support pour la suite de ce mémoire lorsque nous développerons les notions d'adaptativité par rapport à la mission et à l'opérateur réalisées dans TELEMAQUE2 [VIE 99]. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous fournissons des informations concernant les techniques de modélisation de l'information que nous utilisons pour rendre l'interface adaptative.

3.1. Interface Adaptative

Les concepts que nous allons développer vont s'appliquer à une sous-classe des interfaces homme-machine intelligentes, appelées interfaces adaptatives, puisque c'est ce type d'interface que nous avons retenu dans le cadre de cette recherche.

3.1.1. Introduction et définitions

D'après BENYON, un système adaptatif est un système à base de connaissances qui modifie automatiquement les aspects du fonctionnement du système et l'interface dans le but de synthétiser les différentes préférences et les exigences des utilisateurs individuels du système.

Ainsi, l'adaptation a pour but d'améliorer les qualités de l'interface par la réduction de la fatigue, du stress, ... D'après CLOWES, un système adaptatif peut modifier son état selon les exigences d'interaction que sont une adaptation automatique aux besoins de changement des utilisateurs dans le temps, ainsi qu'une adaptation selon chaque utilisateur pris séparément ou par classe.

Dans « *Adaptive Interfaces for Human-Computer Interaction : A colorful Spectrum of present and future options* » [BAL], Lajos BALINT présente les différentes définitions concernant ce domaine, ce sont ces définitions qui sont reprises ici.

Interface adaptable

L'interface peut être ajustée mais de façon manuelle par l'intermédiaire de l'opérateur. Il décide donc d'adapter l'interface à ses besoins selon l'action qu'il doit accomplir. Le système n'a pas de possibilité d'interdire une modification C'est un élément extérieur qui l'adapte aux

besoins des circonstances de façon manuelle en choisissant des modifications à apporter à ses paramètres.

Interface adaptative

L'interface peut se modifier d'elle-même dans le but de s'adapter aux circonstances, exigences ou besoins. D'après [TOT 87], un système adaptatif est un système qui possède un mécanisme qui change l'état du système en réponse à l'évolution de l'environnement pour que le système soit mieux en adéquation avec cet environnement que s'il était resté dans son état originel.

Adaptabilité

Processus de modification manuelle d'une interface en suivant les règles et les lignes guides qui lui sont associées.

Adaptativité

Processus de modification automatique des propriétés de l'interface.

Nous pouvons faire une comparaison entre les systèmes dits adaptables et adaptatifs. Les systèmes adaptatifs se modifient automatiquement d'après, par exemple, le comportement de l'opérateur humain. Ils doivent donc contenir les modèles du domaine, de la tâche et/ou de l'opérateur pour s'adapter de façon appropriée. Les buts des systèmes adaptatifs sont donc de filtrer les informations provenant de l'utilisateur et de la tâche et de présenter aux utilisateurs des nouvelles informations adaptées à la situation (par rapport à l'utilisateur et à la tâche).

Les systèmes adaptables, par contre, donnent aux utilisateurs la possibilité de modifier certains attributs des systèmes (créer de nouvelles fonctionnalités, modifier les structures de connaissance pour s'adapter aux nouvelles exigences) simultanément à leur utilisation.

Nous pouvons synthétiser ces différences par l'intermédiaire du tableau récapitulatif 3.1 :

Adaptatif	Adaptable
<p><u>Avantages</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • change de lui-même • n'exige pas de connaissances spéciales et nécessite peu d'efforts de la part de l'utilisateur 	<p><u>Avantages</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • l'opérateur le modifie selon ses critères • laisse l'utilisateur contrôler le système à modifier • techniques bien connues
<p><u>Inconvénients</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • besoin d'avoir un modèle cohérent du système Homme/Machine (surtout un bon modèle de l'opérateur) • l'opérateur n'a pas le contrôle des modifications 	<p><u>Inconvénients</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • les systèmes deviennent incompatibles entre deux utilisateurs • augmentation de la complexité par l'interaction de l'opérateur avec les composants adaptables du système. L'opérateur doit donc accomplir plus d'actions pour arriver au même résultat.
<p><u>Exigences</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • création des modèles des opérateurs humains, tâches et dialogues • bases de connaissance des buts et des plans de la mission à effectuer • mise à jour des modèles 	<p><u>Exigences</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • besoin d'une formation pour les utilisateurs • codifier les modifications possibles par une symbologie

Tableau 3.1 : Différences entre systèmes adaptables et adaptatifs

Ce tableau montre la difficulté principale de l'adaptativité : obtenir une bonne modélisation de l'opérateur humain. Ce problème ainsi que la méthode que nous avons conçue pour résoudre cette difficulté fera l'objet du cinquième chapitre.

3.1.2. Intérêts des systèmes adaptatifs

Les systèmes adaptatifs ont été créés pour améliorer l'interaction homme-machine et pallier certains problèmes et difficultés. Ainsi, les buts de l'interface adaptative sont d'améliorer le système (l'efficacité et le bon fonctionnement) et de faciliter l'utilisation des systèmes complexes. L'adaptativité doit aussi permettre théoriquement d'augmenter la vitesse d'exécution et d'améliorer la précision opérationnelle. Le nombre d'utilisateurs pour un système adaptatif peut être plus important ; il doit aussi satisfaire les vœux de ces utilisateurs : permettre la réalisation de leurs buts et réduire la durée de leur apprentissage. Enfin une autre application est la possibilité d'afficher ce que l'utilisateur souhaite voir pour améliorer sa compréhension. Tout cela a comme conséquence d'étendre la durée de vie des systèmes adaptatifs.

D'après « *Toward a taxonomy of user interface adaptation* » de EDMONDS [BAL], on peut identifier l'adaptation dans trois catégories. Il y a tout d'abord l'adaptation exigée par l'utilisateur dans le cas de modifications manuelles de l'interface. Nous avons ensuite l'adaptation incitée par le système mais qui est toujours décidée par l'opérateur. Ces deux cas sont proche de la notion de personnalisation du système. Enfin la dernière adaptation est celle qui est automatique et donc n'est pas décidée par l'utilisateur de l'interface.

Il suggère que l'adaptation automatique aux erreurs de l'utilisateur est le mécanisme le plus facilement réalisable tandis que l'adaptation aux buts de l'utilisateur et à l'environnement est relativement simple à travers la personnalisation de l'interface mais difficile à accomplir automatiquement.

D'après TOTTERDELL [BRO 90], on peut classer les systèmes adaptatifs en plusieurs niveaux d'adaptation. Le système adaptatif simple a la possibilité de produire un changement en sortie en réponse à un changement en entrée (par exemple un système à base de règles). Le système autorégulateur surveille les effets de l'adaptation sur l'interaction subséquente et l'évalue à travers des essais et des erreurs. Le système automédiateur surveille l'effet de l'interaction sur un modèle. Les adaptations possibles peuvent être testées hors ligne en théorie avant d'être mises en pratique. Le système automodifié, capable de changer ses représentations permet à ce type de système de raisonner à propos de l'interaction. Pour notre système, on pourrait le situer à la frontière entre les deux derniers niveaux.

Quelques problèmes sont inhérents à ce concept : à quel moment modifier le comportement de l'interface ? En effet, dans la notion d'adaptativité, le système s'adapte de façon autonome sans que l'utilisateur puisse préciser ses besoins. Ainsi si l'utilisateur n'a pas la priorité sur l'adaptation, il sera désorienté lors de la première modification (problème de la quantification de la résistance de l'utilisateur aux modifications automatiques générées par le système). Cela oblige à signaler à l'utilisateur que ce système est adaptatif : soit l'ordinateur suggère et l'opérateur sélectionne ou alors c'est le contraire. La meilleure stratégie dépend fortement de la tâche à accomplir et du nombre d'opérateurs impliqués. Dans les deux cas, il est préférable que l'opérateur soit au moins au courant sinon en partie décideur des améliorations à accomplir.

Un autre problème est le choix du moment propice à la modification de l'interface. La méthode la plus sécuritaire consiste à modifier l'interface entre chaque session à moins que le changement soit demandé par l'utilisateur lui-même.

D'après « *System Adaptativity and the modeling of stereotypes* » de David BENYON [BEN 87], une des difficultés majeures de l'interaction homme-machine est la variété de tâches que l'ordinateur peut exécuter et la variété d'utilisateurs qui utilisent ce système. Un deuxième problème vient du fait que le comportement de l'utilisateur se modifie (la modification de son exploration visuelle [DAN 86] par exemple) avec son apprentissage et son expérience sur le système. Il faut donc différentes interfaces pour un même utilisateur et différents niveaux d'informations selon la tâche effectuée. Différentes interfaces sont nécessaires car l'opérateur évolue et l'interface doit aussi évoluer et par conséquent il doit y avoir génération cyclique d'une nouvelle interface.

Un problème fondamental est de quantifier l'évolution de l'opérateur humain. En effet, les utilisateurs apprennent différentes choses sur le système à différents moments d'utilisation de l'interface que ce soit par exemple dans la bonne utilisation des particularités des fonctionnalités de l'I.H.M. Notre travail donnera une place importante à ce concept.

La figure 3.1 nous donne une représentation du mécanisme d'adaptation du système par rapport à l'utilisateur.

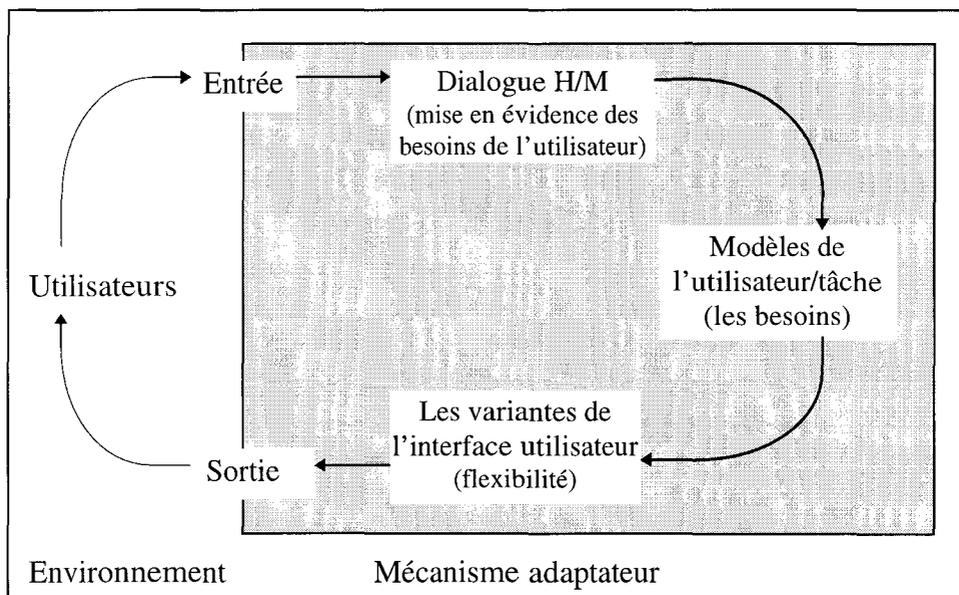


Figure 3.1 : Mécanisme d'adaptation dans la théorie du système adaptatif

Différents exemples de comportements adaptatifs sont rencontrés fréquemment. La sélection des techniques d'interaction et des canaux de communication en est un exemple. La présentation des formes et des menus d'après la tâche ainsi que la présentation des informations selon l'utilisateur et la tâche en sont d'autres. Enfin l'aide adaptative correspond également à ce concept. En effet, l'aide peut-être décomposée en une partie navigationnelle et une autre contextuelle. L'aide adaptative se situe au niveau contextuel. L'aide s'adapte ainsi à la situation en cours pour apporter à l'utilisateur les réponses aux questions occasionnées par cette situation.

3.1.3. Méthodes de conception

Nous avons vu au paragraphe précédent que pour concevoir une interface adaptative, il faut savoir développer un modèle du système. En fait cela consiste à intégrer des modèles de l'opérateur, de l'interaction homme-machine, de la tâche et du domaine. Nous allons donc présenter chacun de ces modèles afin de montrer la complexité de cette conception.

3.1.3.1. Modélisation de l'opérateur humain

Le modèle de l'utilisateur fournit la représentation de la connaissance et des préférences que le système croit être possédée par son utilisateur qui peut être un individu, un groupe d'individus ou même un agent informatique. Ce modèle est différent des données personnelles qu'un système peut avoir emmagasiné à propos de l'utilisateur puisque ces dernières données ne peuvent pas être exploitées dans les interactions du système avec l'opérateur. Elles devront préalablement être injectées dans le modèle existant pour le mettre à jour. La présence d'un modèle utilisateur est indispensable à la gestion d'un historique de l'interaction de l'utilisateur avec le système. C'est cet historique qui fournit le profil de l'utilisateur utilisé dans la conception de l'interface individuelle la plus adaptée.

Le modèle de l'utilisateur d'un système est une construction cognitive qui décrit la compréhension de l'opérateur dans un domaine particulier. Ce modèle est principalement basé sur l'expérience de l'opérateur.

Ce modèle doit contenir des bases de données sur l'opérateur pour pouvoir représenter son comportement. Il faut donc que le modèle de l'utilisateur acquière les connaissances à partir de l'utilisateur. Il existe deux moyens pour y parvenir. Tout d'abord, elles peuvent être obtenues explicitement à partir de l'utilisateur à travers des comportements coopératifs : poser des questions appropriées par exemple. Le modèle peut également être alimenté avec des informations emmagasinées préalablement ou acquises implicitement à partir d'inférences réalisées sur l'utilisateur (à partir de leurs interactions, au moyen de tests ou à partir de l'assignation des utilisateurs à des catégories génériques d'utilisateurs appelées 'stéréotypes').

Au niveau hiérarchique, le modèle de l'utilisateur peut être décomposé en trois parties. Le modèle « étudiant » contient les données dérivant de ce que le système croit savoir sur les croyances de l'opérateur sur le domaine. Ce modèle contient la connaissance qu'a un utilisateur sur le domaine où le système adaptatif fonctionne. Le modèle « psychologique » (traits affectifs et cognitifs des utilisateurs) constitue la deuxième partie. Enfin le profil utilisateur contient les données concernant son historique, les centres d'intérêts et les connaissances générales des utilisateurs, toutes ces informations ne portant pas sur l'aspect psychologique de l'opérateur.

Ainsi la difficulté principale est de concevoir un modèle précis. L'intérêt est qu'à partir de ce modèle, le système pourra contenir exactement ce que les utilisateurs ont besoin de savoir et leur présenter les informations les plus pertinentes pour un opérateur donné. Le dernier avantage est que l'adaptation se fera uniquement aux moments nécessaires. La plupart du temps, le système restera « silencieux ».

Ces informations nous montrent le besoin de quantifier la différenciation entre opérateurs humains pour posséder un modèle le plus précis possible et pouvant s'adapter à leurs fonctionnements que ce soit au niveau dialogue ou au niveau affichage. De plus, l'efficacité des utilisateurs dépend de leur expertise sur les différents constituants de la mission. En effet, l'une des principales supériorités de l'opérateur par rapport à la machine est sa faculté de prévision des défauts [ROG 80].

Pour avoir un modèle le plus proche possible du comportement réel de l'opérateur, certains travaux actuels emploient des techniques à base de logique floue pour le modéliser [ISH 95][NON 98][VIE 98].

D'après NOAH et HALPIN, l'utilisateur peut-être modélisé par sa connaissance générale en informatique, sa connaissance dans l'utilisation du système, ses capacités physiques et de perception, sa compétence cognitive ainsi que relationnelle. Enfin intervienne l'habileté de l'opérateur humain à identifier et exécuter les tâches dans certains domaines spécifiques à l'exécution de la tâche.

Selon Browne, Norman et Riches, il serait préférable d'employer les compétences psychomotrices des utilisateurs (frappe au clavier, ...), leurs cursus (première expérience, compétences, ...), leurs capacités d'apprentissage, leur compréhension de problèmes issus d'un autre domaine et d'autres tâches, leurs attentes et besoins (transfert de concepts provenant d'anciens systèmes) ainsi que leurs motivations. On doit enfin prendre en compte leurs exigences et préférences (en matière d'affichage par exemple), leurs stratégies et capacités cognitives (mémoire : sémantique, spatiale, épisodique).

D'après [BRO 90], on peut codifier un opérateur par une dizaine de caractéristiques. Les caractéristiques psycho-motrices correspondent à la capacité de l'utilisateur à répondre de façon appropriée à un stimulus. Cela infère plus fortement sur des tâches de conduite ou de poursuite voire de pointage. Dans le cas de problème de pointage, les surfaces de commande affichées pourraient avoir leur taille variable selon les capacités de l'opérateur. Un autre moyen pour résoudre le cas de tâches exigeant une bonne capacité psycho-motrice est le développement d'un nombre important d'outils de commande. Cette redondance permet un élargissement du spectre d'utilisateurs possibles.

L'aptitude est un autre critère. Cela signifie que chaque utilisateur possède un niveau d'expertise dans un domaine nécessaire pour l'accomplissement de la tâche. On peut classer les utilisateurs selon l'état de ce niveau d'expertise en utilisant les catégories : novice, intermédiaire et expert.

La capacité d'apprentissage influe elle aussi directement sur la prédiction des résultats futurs des utilisateurs. En effet, plus cette capacité est importante, plus l'opérateur évoluera rapidement par apprentissage et expérience mémorisée. Plus vite l'utilisateur comprendra les bases plus vite il pourra se focaliser sur les concepts avancés.

Dans la même idée, la compréhension qui se réfère à la compréhension individuelle d'un problème à résoudre ou d'une tâche à réaliser est aussi un facteur de codification.

L'emploi des attentes et espoirs peut être utile : chaque utilisateur a tendance à vouloir retrouver le même environnement de travail lorsqu'il change de système. Ainsi, il transférera les modèles conceptuels développés durant l'interaction avec le premier système. Cela peut aller du retour au même nom de commande au positionnement de l'emplacement habituel des différentes fenêtres.

Un autre critère plus difficile à évaluer et exploiter est la motivation. En effet, il est préférable que le système motive son utilisateur en le guidant et en lui facilitant l'apprentissage sans le laisser livré à lui-même avec la possibilité d'une démotivation.

Les stratégies cognitives et les capacités cognitives des utilisateurs comprennent les notions de mémorisation et de mécanismes d'attention et de réflexions et ont aussi un rôle à jouer ainsi que les préférences et les changements temporels : les préférences découlent plus précisément des expériences non informatiques. Ainsi des utilisateurs préféreront avoir un

dialogue pour aider à la réalisation de la tâche, tandis que d'autres n'en voudront pas. Ces modèles personnalisés pourront affecter le mode de présentation des informations.

Les changements temporels prennent en compte la notion d'expérience. Avec le temps, l'opérateur peut gagner de l'expérience sur l'utilisation du système. Mais cette expérience peut aussi inférer sur le choix des stratégies, sur les attentes ainsi que sur la compréhension et les préférences.

Nous pouvons en conclure que les modèles opérateurs sont indispensables à un système à vocation adaptative. Ils favorisent plus particulièrement la génération de systèmes d'aide, de conseil (interpréter les requêtes et les réponses de l'opérateur humain). Ils permettent aussi de filtrer les informations (évaluer ce que les utilisateurs ont besoin de savoir) ou d'individualiser la présentation des informations. La modification cyclique de l'interaction de l'opérateur humain avec le système devient possible tout comme la génération d'un système d'apprentissage intelligent qui sélectionne les buts spécifiques d'apprentissage.

3.1.3.2. Modélisation de l'interaction homme-machine

Ce modèle contient tout ce qui caractérise les interactions qui peuvent exister entre les utilisateurs et la représentation de l'application.

Cette interaction est définie à partir d'un opérateur utilisant le système qui est surveillé dans le but de déduire sa façon de travailler. A partir de ces données, le système peut faire des inférences sur les croyances de l'utilisateur, ses plans et/ou ses buts, ses caractéristiques à long terme, traits cognitifs et expériences antérieures. L'autre intérêt est qu'il peut enregistrer le comportement de l'opérateur selon un type particulier d'interaction. Enfin il a la possibilité d'évaluer ses inférences et adaptations et d'ajuster les aspects de sa propre organisation ou de son comportement. Nous pourrions donc avoir l'apparition automatique dans un bandeau de menu d'un icône permettant d'exécuter une fonctionnalité que l'opérateur faisait très régulièrement et qui nécessitait de nombreuses actions pour arriver au résultat escompté.

Nous rencontrons donc deux aspects principaux dans ce modèle qui sont le choix des informations et les types de représentation appropriés. Le modèle d'interaction comprend donc un module d'enregistrement du dialogue (cela peut être les click souris ou son déplacement, le nombre d'actions pour un temps prédéfini, les messages systèmes ou les lignes de commande) ainsi qu'une base de connaissance de l'interaction (décrivant les inférences qui peuvent être réalisées selon le dialogue, les évaluations de l'interaction qui sont possibles et les changements que le système peut accomplir).

D'après [BRO 90], on peut se baser sur le modèle de SEEHEIM. On dénombre trois modèles de dialogue : les réseaux à transition d'état, les grammaires à contexte libre et les modèles événementiels de l'interaction utilisateur.

Les réseaux à transition d'état sont composés de noeuds et d'arcs orientés. Les noeuds représentés par des cercles indiquent l'état du dialogue entre l'utilisateur et le système. Les arcs précisent l'évolution du dialogue par le passage entre les différents noeuds. Leur intérêt principal est l'utilisation d'une représentation graphique.

Les grammaires à contexte libre se composent de différents paramètres. Deux ensembles de symboles correspondent aux mots du langage pour le premier et représentent la structure du langage pour le deuxième. Cette grammaire possède aussi un symbole de départ ainsi que des meta-symboles pour les opérations logiques. Enfin le système est géré par des règles construites à partir des éléments précédents.

Les modèles événementiels de l'interaction utilisateur reconnaissent les événements générés par l'utilisateur et l'application ou à partir des composants internes comme le contrôleur de dialogue. Cette notion de modèle événementiel permet de caractériser aussi le comportement de l'utilisateur d'après les actions qu'il a accomplies et de pouvoir en déduire son profil.

3.1.3.3. Modélisation de la tâche

Comme la création d'interfaces utilisateur adaptatives a pour but d'améliorer la qualité de la performance humaine, il est indispensable de considérer le contexte de cette performance. Cela nécessite une analyse de la tâche.

On peut définir l'analyse de tâche de différentes façons. Ainsi elle peut être définie comme la mise en évidence, à partir des données recueillies en situation de travail, des caractéristiques pertinentes des tâches réalisées par les opérateurs [LAV 93].

Sa fonction est d'aboutir à la définition de chaque tâche effectuée par l'opérateur, les relations entre les tâches, à la décomposition de chaque tâche en sous-tâches planifiées par l'opérateur et selon un modèle de planification hiérarchique [SEB 91].

L'analyse de tâche fournit une description des activités entreprises par les opérateurs humains quand ils travaillent. Cette description est basée sur des observations, interviews et analyses de protocole. Le résultat est la description comportementale des tâches.

L'analyse de tâche est utilisée habituellement comme base pour la modélisation de la performance humaine. Mais dans un système adaptatif, une analyse de tâche nécessite une méthode pour conduire l'analyse, une notation pour expliquer les résultats de l'analyse et un mécanisme pour intégrer la notion de tâches dans le système adaptatif.

L'objectif des méthodes d'analyse est de décrire les activités de l'opérateur réalisant la tâche et à partir de ces résultats en déduire les éléments importants (c'est-à-dire pertinents) pour l'environnement de travail.

3.1.3.4. Modélisation de l'application (ou modélisation du domaine)

Elle est requise dans le but de définir les aspects de l'application qui peuvent être adaptés ou qui sont requis d'une autre manière pour l'opération d'un système adaptatif (par exemple le modèle de l'application, le modèle du système, le modèle du dispositif et/ou modèle de la tâche).

Le modèle du domaine sert de base à toutes les inférences et prédictions qui peuvent être faites à partir de l'interaction utilisateur/système, mais aussi à toutes les adaptations que le système peut réaliser, enfin il sert de base aux composants du modèle étudiant du modèle utilisateur (défini au 2.2.3.1.).

Le modèle du système doit aussi permettre à l'utilisateur d'anticiper les réactions du système et de pouvoir communiquer avec lui [HAA 87].

Les critères permettant de générer un bon modèle de domaine sont nombreux. Il faut tout d'abord que ce modèle se situe à un niveau approprié d'abstraction pour permettre la réalisation des inférences requises. Il faut de plus qu'il retienne les caractéristiques de l'application qui sont mesurables, et qui pourront être évaluées vis-à-vis de leur efficacité. Ces valeurs seront ensuite comparées aux critères exigés pour obtenir un modèle de l'application

adapté. Ce modèle doit décrire tous les aspects du système qui peuvent être impliqués dans son adaptativité. Enfin, il doit aussi décrire la partie du système qui emmagasine les données concernant la compréhension de l'utilisateur sur les fonctions de l'application. Il est intéressant de constater que dans les systèmes les plus adaptés, le modèle du domaine est implicite. En effet, si le modèle est implicite, le système connaît directement la façon de réagir de l'application d'après les actions de l'utilisateur.

3.1.3.5. Techniques de gestion d'interfaces adaptatives

Cette notion d'adaptativité peut être générée à partir de différentes techniques. Nous pouvons en citer cinq.

L'adaptation d'une interface adaptative par les Algorithmes génétiques aux changements des besoins de l'utilisateur est analogue à l'adaptation des formes de vie à leur environnement à travers la sélection naturelle. Les algorithmes d'apprentissage peuvent être basés sur les algorithmes génétiques.

Le « Scheduling » est une autre possibilité. Dans ce cas, on planifie l'exécution d'une tâche ou une sous-tâche selon les actions de l'utilisateur ou les circonstances.

On peut aussi utiliser des méthodes de reconnaissance de forme pour analyser les séquences de l'opérateur dans l'utilisation de l'interface. Ainsi lorsqu'une séquence a été analysée, elle pourra être reconnue par la suite si elle est de nouveau générée.

On peut aussi gérer une interface au moyen d'un langage qui s'adapte au contexte. Le langage d'interaction va donc se modifier selon les actions à accomplir. Une notion d'imprécision peut alors intervenir et par conséquent l'utilisation de techniques basées sur la logique floue peut s'avérer utile.

Enfin on peut baser l'adaptativité sur le modèle de l'opérateur. Ainsi selon sa représentation (historique, réussite, expérience, ...), l'utilisateur du système aura une interaction différente avec le processus via l'interface. C'est certainement la méthode la plus complexe à utiliser. Mais c'est aussi celle qui permet la meilleure gestion.

3.1.4. Evaluation d'une interface adaptative

L'évaluation est un processus qui doit être réalisé en parallèle à la conception de l'interface. Cela implique que les conditions d'évaluation risquent de se modifier au cours de la conception [KOL 97]. On dénombre peu de méthodes en ce qui concerne les interfaces adaptatives. La plus utilisée se trouve être la méthode Metrics [BRO 90]. Elle développe un ensemble de systèmes métriques dans le but de représenter les catégories de données essentielles aux systèmes adaptatifs. Elle utilise pour cela les variables suivantes :

Catégories d'évaluation	Fonctions
« <i>Objective Metric</i> »	Sert à déclarer l'objectif du système adaptatif. Si par exemple, l'objectif est d'augmenter la vitesse d'interaction, la considération de cette métrique impliquera le besoin d'avoir des moyens de mesure et d'enregistrement des temps de réponse de l'opérateur.
« <i>Theory Assessment Metric</i> »	Permet de diminuer le nombre de menus intermédiaires avant de parvenir aux fonctions les plus usitées.
« <i>Trigger Metric</i> »	Utilisée pour créer un historique des sélections réalisées par l'opérateur. Cela peut aussi être l'historique de ses erreurs.
« <i>Recommendation Metric</i> »	Permet de hiérarchiser les différents menus du système d'après la catégorie <i>Theory Assessment Metric</i> .
« <i>Generality Metric</i> »	Gère l'effet de la taille et du nombre d'items affichés sur chaque menu.
« <i>Implementation Metric</i> »	Prend en compte l'effet du retard pour la mise à jour de l'interface utilisateur.

Tableau 3.2 : Méthode Metrics d'évaluation d'interface

Les relations entre deux variables appartenant à ces catégories permettent de visualiser et ainsi d'évaluer le niveau d'adaptativité de l'interface. Par exemple, on peut essayer de comparer le niveau de la variable erreur (catégorie trigger) avec la variable niveau d'aide (catégorie recommandation). Si l'interface est bien réalisée, son niveau d'aide devra automatiquement augmenter avec l'apport croissant d'erreurs.

Le problème de ces évaluations d'interfaces adaptatives est que leur comportement dépend principalement du modèle utilisateur. Ainsi la difficulté pour générer un bon modèle utilisateur peut perturber de ce fait l'évaluation puisque les réactions prévues ne seront peut-être pas celles réellement obtenues.

3.1.5. Domaines d'application

La notion d'interface adaptative se retrouve dans différents secteurs.

Logiciels éducatifs

L'intérêt est alors de modifier la façon de travailler de l'interface pour s'adapter à l'élève qui l'utilise. Ainsi un même système peut être employé par différents niveaux de formation. Il peut aussi s'adapter à l'évolution des connaissances dans le temps sans devoir changer de logiciel entre temps. Cela donne de plus une notion de convivialité supérieure aux logiciels éducatifs classiques [IBR 95]. Un autre intérêt est la possibilité de pouvoir protéger l'environnement de travail en réglementant l'accès à certaines fonctions selon les niveaux d'apprentissage des utilisateurs [OPP 97].

Espace

L'adaptativité peut aussi se trouver au niveau des écrans de contrôle des avions de chasse ou des navettes spatiales. En effet, le système doit savoir s'adapter à toutes les circonstances pouvant être rencontrées par les pilotes, qu'elles soient relatives à l'activité des différents systèmes ou dans l'anticipation des besoins. Une seconde peut alors faire la différence.

Contrôle du trafic aérien

Dans ce domaine, l'adaptativité a pour but principalement de fournir les informations nécessaires pour éviter tout risque de collision. La sécurité est donc au centre du système. Il va donc rendre le dialogue plus naturel en facilitant l'interaction (au moyen d'une interface multimodale) ou la restitution des informations pertinentes [BIS 92].

3.1.6. Recherches actuelles

La complexité de mise en œuvre de la technique d'adaptativité de l'interface oblige encore actuellement à poursuivre différentes voies de recherche.

Modélisation de l'opérateur

En effet, l'adaptativité se base principalement sur le modèle de l'utilisateur pour que l'interface réagisse à son comportement. Ainsi si la modélisation a été mal effectuée, le système risque de mal réagir ou trop tard. Cela pourrait causer un décalage avec la réalité qui occasionnerait un rejet du système par l'opérateur.

Choix des informations pertinentes

L'une des qualités principales de cette technique est la possibilité de fournir à chaque instant les informations pertinentes, c'est-à-dire les informations adaptées à la situation et qui rendent possible la bonne compréhension du système et une intervention en cas de problème.

Evaluation

Un autre axe de recherche reste la génération de nouvelles méthodes d'évaluation d'interfaces adaptatives : nous avons expliqué quelques critères au paragraphe 2.2.4.

Les recherches actuelles portent principalement sur les points clef d'une interface adaptative particulièrement son modèle utilisateur sur lequel il est possible d'appliquer les règles d'adaptativité.

3.2. Technique de modélisation des informations

Dans la suite de ce mémoire, nous allons faire appel à la logique floue pour modéliser les informations utilisées pour rendre l'interface adaptative. Nous allons donc présenter ci-dessous la terminologie utilisée dans les chapitres suivants. Nous aborderons aussi à ce

niveau les différents moyens d'évaluer l'opérateur. Enfin, différentes techniques de fusion d'informations seront évoquées.

3.2.1. Rappel sur la logique floue

Les ensembles flous et la théorie des possibilités ont comme particularité de pouvoir traiter les informations imprécises et incertaines. Leur avantage est la possibilité d'intégrer des informations de différentes natures (niveaux d'abstractions différentes, numérique/symbolique). On utilise ici les concepts de possibilité, de nécessité, de support (Supp), de noyau (ou Ker), de fonction d'appartenance d'un sous-ensemble flou A (f_A) et de variable linguistique. Ce sont ces concepts que nous allons expliciter maintenant.

3.2.1.1. Définition et caractéristiques d'un ensemble flou

Nous allons nous limiter à quelques définitions d'éléments présents dans la suite du mémoire.

Ensemble flou :

Un ensemble flou F est équivalent à la donnée d'un référentiel Ω et d'une application, notée μ_F , de Ω dans $[0,1]$. $\mu_F(\omega)$, pour $\omega \in \Omega$, est interprété comme le degré d'appartenance de ω à l'ensemble flou F [DUB 88].

Support :

c'est l'ensemble des éléments de X qui appartiennent, au moins un peu, à A. Il est noté $\text{supp}(A)$ et c'est la partie de X sur laquelle la fonction d'appartenance de A n'est pas nulle :

$$\text{supp}(A) = \{x \in X / f_A(x) \neq 0\}$$

Noyau :

C'est l'ensemble de tous les éléments appartenant de façon totale (avec un degré 1) à A. Il est noté $\text{noy}(A)$:

$$\text{noy}(A) = \{x \in X / f_A(x) = 1\}$$

3.2.1.2. Variable linguistique et proposition floue

Cette notion de variable linguistique va être utilisée pour la modélisation de l'opérateur dans le chapitre concernant l'adaptativité par rapport à l'opérateur.

3.2.1.2.1. Définition

La plupart du temps, lorsque l'on veut quantifier une information imprécise et le plus souvent subjective comme une taille qui corresponde à l'adjectif grand, on utilise une variable

linguistique qui a pour but de modéliser cette connaissance imprécise ou vague au moyen d'une variable dont la valeur précise est inconnue.

Par définition, une variable linguistique est représentée par un triplet (V, X, T_V) . V est une variable (comme la taille) définie sur un ensemble de référence X (par exemple $X = \mathbb{R}^+$). V peut prendre n'importe quelle valeur du domaine X . T_V est un ensemble de sous-ensembles flous de X utilisés pour caractériser V . Il apporte une classification de V en plusieurs ensembles différents. Si nous faisons la relation avec la variable représentant la taille d'un être humain, T_V correspondrait aux ensembles petit, moyen et grand par exemple.

3.2.1.2.2. Modificateur linguistique

Les modificateurs linguistiques permettent de modéliser les expressions linguistiques comme « très » ou « moins ». Ainsi, grâce à cet intermédiaire, on peut utiliser des expressions composées à partir de ces modificateurs et des fonctions d'appartenance caractérisant la variable linguistique [ZAD 78].

Ils ont pour fonction de modifier la forme de ces fonctions d'appartenance. Dans l'exemple suivant, nous présentons un type de transformation possible.

Soit l'expression « grand », nous pouvons la représenter par :

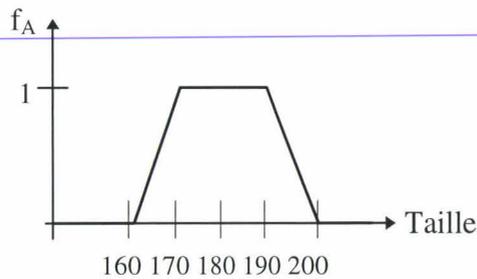


Figure 3.2 : Fonction d'appartenance représentant l'expression « grand »

Si maintenant nous voulons avoir l'expression « très grand », la fonction d'appartenance aura la forme :

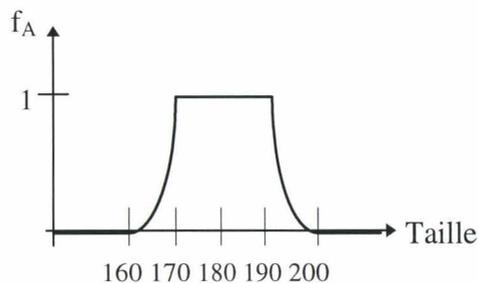


Figure 3.3 : Fonction d'appartenance représentant l'expression « très grand »

En fait pour passer de « grand » à « très grand », nous avons utilisé le modificateur linguistique associé à « très ». La transformation mathématique de la fonction d'appartenance a la forme suivante :

$$t_m(f_A(x)) = f_A(x)^2$$

En résumé, on peut classer les modificateurs en plusieurs catégories. L'ensemble « *renforcement* » est en relation avec les termes comme « très » ou « fortement ». Ils sont la particularité de diminuer le domaine du support et du noyau de la fonction d'appartenance ou de la translater vers la droite. Les modificateurs d' « *affaiblissement* » modélisent « plus ou moins » ou « relativement ». Ils agissent sur le domaine du support ou du noyau mais rarement sur les deux. Ils peuvent aussi translater la fonction mais vers la gauche. Par exemple, nous pouvons avoir

$$t_m(f_A(x)) = f_A(x + \alpha)$$

Ainsi, si α est positif nous avons un modificateur de renforcement. Et si α est négatif, c'est un phénomène d'affaiblissement.

3.2.2. Evaluation de l'opérateur

Pour avoir un modèle opérateur adéquat, il faut avoir réalisé une bonne évaluation de l'opérateur ce qui nécessite de définir des critères adaptés à la situation.

3.2.2.1. Définition des critères d'évaluation

Le choix des critères dépend principalement de la catégorie d'évaluation désirée.

3.2.2.1.1. Personnalité

La *personnalité* (selon HUTEAU) est « l'unité stable et individualisée d'ensembles de conduite ». Elle regroupe les notions d'unité, de diversité, de stabilité, de totalité (c-à-d l'ensemble des invariants personnels) et la référence au concret (en situation particulière).

Les caractéristiques définissant la personnalité d'un individu sont les suivantes :

- la distance de l'individu vis-à-vis du réel
- ses connaissances (acquises, expériences vécues et opérations mentalement réalisables).
- sa relation avec le temps
- la rigueur de sa démarche intellectuelle
- sa stabilité émotionnelle
- sa relation avec la prise de risque
- sa capacité créative (imagination et originalité).
- son anxiété
- son caractère autoritaire

Nous avons en plus des éléments de forme psychologique, physique ou anatomo-physiologique. Ce sont :

- l'état de fatigue (dû à des causes physiologiques, sensorielles, informationnelles et /ou psychologiques)
-

- la capacité momentanée à faire face à la situation et au stress qu'elle génère (le *coping*), la privation de sommeil (baisse des performances mentales et lutte contre le sommeil), le moral (thymie et sociabilité)
- la motivation (niveau de performance de l'individu mais aussi l'acharnement mis à poursuivre la tâche)

3.2.2.1.2. Performance

On peut aussi décider d'évaluer l'utilisateur du système par sa performance.

Définition : « *Evaluer la performance d'un système consiste à comparer le travail effectué par ce système au travail attendu* ».

La performance du système dépend énormément du travail de l'opérateur. Ainsi, HILL développa une évaluation dans le domaine de la téléopération à l'aide de trois critères : *M-moves* (nombre de mouvements du bras-mâitre), *Time* (durée totale de la tâche) et *M-ratio* (la durée totale pendant laquelle le bras-mâitre est en mouvement / Time).

On peut ainsi caractériser les critères faisant évoluer la performance :

- sa *variabilité* : l'opérateur ne fait jamais la même tâche de la même manière.
- son *besoin constant d'information* : il cherche par tous les moyens à obtenir de l'information. Ainsi dans le cas d'une situation stationnaire, il va donc passer plus de temps à vérifier des paramètres non prévus à l'origine mais il aura aussi besoin de plus de temps pour se construire une image mentale du système. Cette réflexion sera la cause d'une diminution de la surveillance de la tâche, provoquant une baisse de vigilance.
- son *stress*

Chaque opérateur exécute de façon toute personnelle son action et il est rare que le résultat soit exactement identique entre deux utilisateurs. Il y a donc présence de facteurs individuels faisant évoluer la performance. Parmi ceux-là nous trouvons, entre autres, la formation suivie ou l'expérience acquise, l'adresse naturelle, la personnalité et l'intelligence, la motivation de l'opérateur ainsi que son état émotionnel. Son stress et sa condition physique influent également, sans oublier les conditions de travail.

3.2.2.1.3. La charge de travail

On peut aussi quantifier l'opérateur par son niveau de charge de travail. On peut la définir de deux façons :

Définition 1 : « *C'est une quantification de la fréquence et de l'amplitude des interventions exigées de la part de l'opérateur* ».

Définition 2 : « *La charge de travail correspond au niveau de ressources investies dans l'action.* »

La charge de travail a de nombreuses répercussions que ce soit sur le temps de réaction ou sur une mauvaise interprétation de résultat. Elle influe aussi sur la performance comme nous pouvons le voir sur la figure 3.4 [JOH 79].

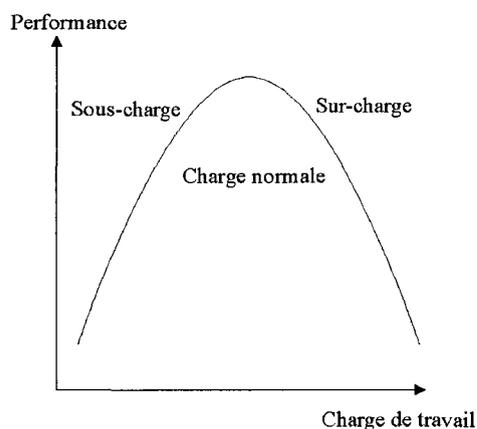


Figure 3.4 : La performance en fonction de la charge de travail [tiré de WAW 96]

Nous pouvons ainsi dénombrer quatre types de charges de travail : Celle qui est liée aux exigences de la tâche, la charge de travail déduite de la performance, enfin, on trouve la charge physique et la charge mentale.

Nous pouvons dénombrer plusieurs facteurs influant sur la charge de travail. Ces différents facteurs peuvent être regroupés en cinq familles :

- exigences de la tâche : rigidité du calendrier de la mission, monotonie de la tâche et exigence de temps/intensité de la tâche.
- facteurs anatomiques et physiologiques : activité de l'organisme. Fatigue et changement organique (âge, handicaps physiques ou psychiques).
- environnement physique : interactions organisme-environnement, hostilité du milieu de travail et changements rapides du milieu du travail.
- facteurs psychologiques : habileté de l'opérateur, personnalité, confiance (envers la machine et lui-même) et motivation.
- facteurs sociaux : règles et organisation du travail et influence extérieure.

Pour Spérandio, la charge de travail dépendrait plutôt de trois variables : les contraintes de la situation, les contraintes internes de l'opérateur humain telles que la fatigue, le stress ou la motivation et enfin la troisième variable serait l'expertise de l'opérateur humain [SPE 91].

3.2.2.1.4. Mémoire

Enfin la dernière possibilité pour évaluer l'opérateur est de le classer par rapport à ses capacités mémorielles. On peut dénombrer plusieurs types de mémoire.

- Mémoire sensorielle : ce type de mémoire existe pour la vision, l'audition et le toucher. Elle a une durée de vie très brève. Ceci est dû à la remise à jour continuelle.
- Mémoire à court terme : elle correspond au type de mémoire qui influence le plus directement les performances humaines. Elle correspond à la sauvegarde temporaire d'information de l'ordre de quelques secondes. Les informations enregistrées dans la mémoire à court terme paraissent venir à la fois des sources internes et externes. Les informations externes sont sauvegardées par l'intermédiaire des canaux sensoriels et des

processus de perception. Les sources internes incluent des résultats de raisonnement ou les réponses à des problèmes posés. Sa capacité est de 6 à 7 unités d'information. (Ex : numéros de téléphone) et sa durée est de 10 secondes ou 20 secondes s'il y a une possibilité de répétition.

- Mémoire à long terme : elle correspond à la mémoire permanente obtenue par un apprentissage constant. Elle a une capacité infiniment supérieure à la mémoire à court terme mais les informations sont plus difficilement accessibles. Les humains utilisent donc des moyens mnémoniques pour palier le manque d'accessibilité des informations.

3.2.2.1.5. Critères retenus pour la modélisation de l'opérateur

On va ainsi utiliser trois catégories de critères pour modéliser l'état de l'opérateur dans l'utilisation de TELEMAQUE2. Tout d'abord la catégorie « Connaissance ». Cela comprend la connaissance du système qu'a l'opérateur, en informatique et dans le domaine de la mission. La deuxième catégorie se réfère à sa condition physique (liée à son âge, à la situation jour/nuit, au nombre d'heures depuis la connection, ...). Enfin on prend en compte la charge de travail mentale (lié à son état de stress, au nombre d'heures depuis la connection, ...)

3.2.2.2. Principales techniques d'évaluation

Nous allons maintenant aborder quelques techniques utiles pour évaluer les différents critères caractérisant l'opérateur [SPE 80].

3.2.2.2.1. L'approche indirecte

Dans cette approche, l'opérateur est au courant de son évaluation et il est partie prenante de son évaluation. Il y a donc toujours un risque de subjectivité dans ces méthodes car la plupart du temps, ce processus est réalisé hors ligne.

- *Entretien individuel* : plus ou moins ouvert (ouvert, directif ou hyperdirectif) permettant d'obtenir des renseignements non visibles par l'observation directe.
- Méthode des *incidents critiques* : on sélectionne un critère et l'opérateur choisit d'après son expérience un incident critique s'y rapportant. Il l'explique
- *Questionnaires et enquêtes* : l'avantage de cette méthode est d'être générique mais l'inconvénient est qu'elle est très difficile à mettre en place. En effet se posent le choix des questions et des personnes à questionner. De plus cet outil ne doit pas être utilisé dans tous les cas, se pose aussi le manque d'explications sur, par exemple, la fréquence d'utilisation des questionnaires. En effet, quand doit-on donner le premier questionnaire et par la suite à quels moments l'opérateur doit-il répondre à de nouvelles questions.
- *Etude des traces* : analyse du résultat de son travail. On utilise ainsi les informations provenant de plusieurs étapes de la séquence de production pour analyser l'évolution du produit et voir où se posent les problèmes éventuels.

3.2.2.2.2. L'observation

A la différence de l'approche indirecte, les sujets évalués ne sont pas impliqués directement. En fait, ils sont simplement évalués par observation. Il y a plusieurs méthodes selon la partie que l'on observe ou le mode d'observation.

- Observation *ouverte* : par définition ce sont les premières observations accomplies sur le système au moment de l'analyse préliminaire. Elles vont permettre de calibrer les prochaines observations du système.
- Observation *systématisée* : dans ce cas, l'observateur note les différents événements prédéterminés au moyen de codes et cela à travers l'ensemble des étapes du travail. Cela permet de déterminer par exemple le nombre d'appuis sur tel bouton selon l'action à accomplir.
- Observation *expérimentale* : les périodes d'observation dépendent d'un protocole qui évolue selon les critères que l'on veut quantifier. On se limite donc à certaines phases de la réalisation de la tâche.
- Observation *assistée* : on utilise pour observer des instruments d'enregistrement. Cela peut-être une boîte noire comme une caméra pour reproduire au ralenti un mouvement indécélable pour une vision traditionnelle. Cela se réfère à la notion de mouchard électronique.
- Observation des *gestes* : pour certaines tâches, on a besoin de vérifier si l'opérateur réalise la bonne séquence de gestes. Par exemple, on vérifie la bonne réalisation de l'appui sur une séquence de touches sur un pupitre de commande.

3.2.2.2.3. L'expérimentation

C'est la méthode la plus appréciée car la plus riche en renseignements. En effet, dans ce type de méthode, l'opérateur est directement mis en situation et génère par conséquent des données directement exploitables.

- Sur *terrain* : c'est la cas idéal car on expérimente sur le processus réel et on peut ainsi le voir évoluer pratiquement.
 - En *laboratoire* : le problème est qu'il faut à ce niveau reconstituer le plus fidèlement possible les situations du milieu réel. Cela permet de faciliter l'évaluation en ne choisissant d'évaluer qu'une partie du processus. Mais c'est justement cette extraction à partir du processus global qui fournit un résultat sans aucun sens physique.
 - En *simulation* : c'est la solution intermédiaire entre les deux premières. Cela se déroule en laboratoire mais le système simule le processus entièrement. Les utilisateurs peuvent donc s'entraîner comme s'ils étaient sur processus réel. L'aspect coût est un avantage important car on ne risque pas d'endommager le matériel ou de générer des dépenses de niveau maintenance. On peut par exemple utiliser un simulateur d'avion pour l'entraînement des jeunes pilotes.
-

3.2.2.3. Analyse de questionnaire

Un questionnaire peut être composé de trois groupes d'échelles de mesure [GUE 91]. Nous avons tout d'abord l'échelle « nominale » qui décompose la réponse en plusieurs classes où la valeur est équivalente. Il y a ensuite l'échelle « ordinale » qui divise aussi les solutions en plusieurs classes mais ici se rajoute une notion d'ordre entre chaque catégorie. Enfin se trouve l'échelle que nous avons utilisée : l'échelle d'« intervalle ». Voici un exemple pour les deux premières échelles :

Echelle nominale :

Quelle est votre formation Technicien

Ingénieur

Echelle ordinale :

Que pensez vous de ce que vous lisez Bien

Très bien

Excellent

Nous allons maintenant présenter les différentes techniques permettant d'analyser un questionnaire basé principalement sur des échelles d'intervalle.

3.2.2.3.1. Méthode de l'intervalle

Le degré de satisfaction peut être exprimé par un nombre compris entre 0 et 1 (0 signifiant l'insatisfaction et 1 la satisfaction).

Chaque participant au test détermine 3 à 5 valeurs pour le degré de satisfaction et les marque alors sur le segment. La marque la plus à gauche est notée comme coordonnée x et la marque la plus à droite comme la coordonnée y. Le résultat est donc sur un intervalle [x,y].

La collection de tous les intervalles expérimentaux des participants forme un ensemble d'échantillons $\{(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n\}$.

Nous pouvons calculer :

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i + y_i}{2} \\ \bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \end{array} \right.$$

La valeur a est le point d'estimation du degré de satisfaction et \bar{m} symbolise la plus grande certitude ou précision de l'estimation.

Si $\bar{m} = 0$, cela signifie une certitude absolue.

Par exemple, nous avons :

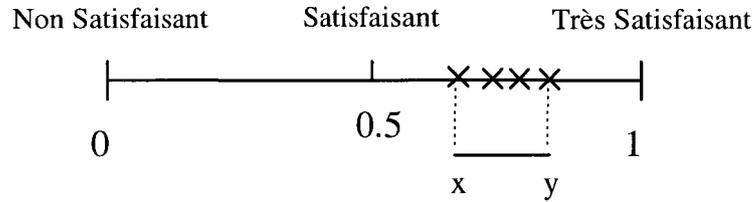


Figure 3.5 : Méthode de l'intervalle

3.2.2.3.2. Méthode du point de confiance

Dans cette méthode, chaque sujet marque un point x sur un intervalle [0,1] et porte un entier positif k sous la marque x ($k \in [5,10]$) signifiant le niveau de confiance du sujet sur la réponse x. Ce niveau de confiance peut être interprété en pourcentages.

N.B. : la méthode de l'intervalle et du point sont interchangeables. Cela est dû à la corrélation entre le niveau de confiance dans la méthode du point et le degré de concentration des points dans la méthode de l'intervalle.

Par exemple nous avons,

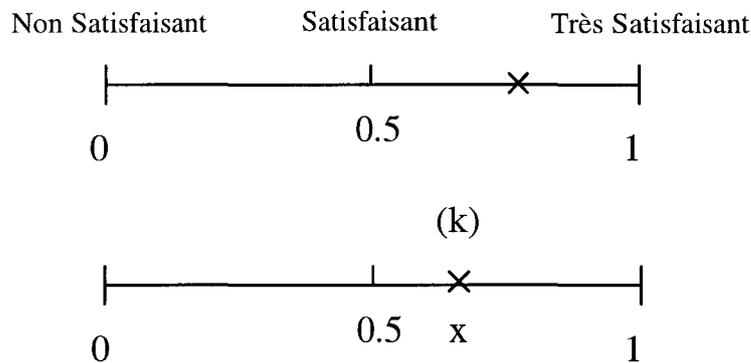


Figure 3.6 : Méthode du point de confiance

3.2.2.3.3. La méthode intervalle-confiance simplifiée

Chaque sujet marque un point de satisfaction x_i sur l'intervalle [0,1]. Le même sujet marque un point a_i reflétant le degré de confiance. Après n expériences, nous avons n paires de (x_i, a_i) . Le degré de satisfaction est estimé par :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i x_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

3.2.2.3.4. Utilisation de mesures représentées par des nombres flous

Une méthode plus récente se base sur des concepts de logique floue [HES 88]. Car ce formalisme est idéal pour modéliser un processus trop imprécis par nature. Ainsi, on peut partir d'une fourchette de valeurs pour arriver après traitement à une information plus précise et utile. En fait l'opérateur décide de la valeur qu'il trouve la plus crédible puis détermine les valeurs minimales et maximales d'après son opinion. Il en déduit une fonction d'appartenance triangulaire qui permet après défuzification d'avoir la valeur correspondant logiquement à son avis.

Soit l'exemple ci-dessous :



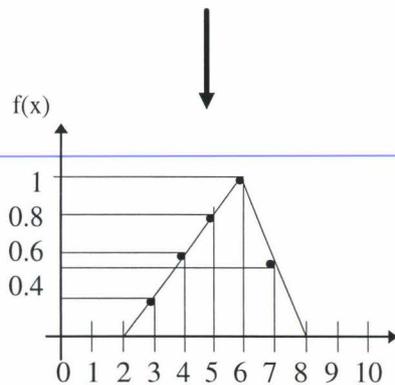
On en déduit la valeur à partir de la formule :

$$B = \frac{\sum f(x) \cdot x}{A}$$

Soit

$$B = \frac{3 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.6 + 5 \cdot 0.8 + 6 \cdot 1 + 7 \cdot 0.5}{3.1}$$

on obtient $B = 5.3$



On calcule A :

$$A = 1 + 0.8 + 0.6 + 0.5 + 0.2 = 3.1 = \sum f(x)$$

3.2.2.3.5. La méthode d'estimation multi-étages

Le sujet doit ici, mettre une croix et une seule dans chaque colonne d'un tableau symbolisant son avis sur la question. Les abscisses représentent le degré de satisfaction. Les ordonnées symbolisent le degré de confiance. Nous avons donc modélisé ici une représentation cartésienne de l'avis du sujet.

Si nous supposons que la réponse du $j^{\text{ème}}$ sujet est représentée par un vecteur à cinq dimensions $(e_1^j, e_2^j, e_3^j, e_4^j, e_5^j)$, où e_i est la seconde coordonnée du $i^{\text{ème}}$ point. Alors soit,

$$\bar{e}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_i^j \text{ avec } i = 1, 2, 3, 4, 5.$$

Le vecteur $(\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3, \bar{e}_4, \bar{e}_5)$ est appelé le *vecteur flou de l'ombre portée*. Nous pouvons définir le degré principal de la confiance :

$$\theta = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \bar{e}_j$$

Par exemple, nous avons

	Extrêmement insatisfaisant	Légèrement insatisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Extrêmement satisfaisant
Complètement d'accord		✓			
D'accord	✓		✓		
Neutre				✓	
Désaccord					
En complet désaccord					✓

Tableau 3.3 : Exemple de la méthode d'estimation multi-étages

A partir de ce tableau nous pouvons en déduire que l'opérateur i peut-être défini par le vecteur à cinq dimensions (2,1,2,3,5). Le but est de réitérer l'opération avec n sujets. Et à partir des n vecteurs à cinq dimensions, on peut en déduire la valeur moyenne des réponses pour chaque degré de satisfaction. Et à partir de ces cinq valeurs, on peut trouver le degré principal de la confiance en faisant leur moyenne.

3.2.3. Utilisation de la fusion d'informations

Nous avons vu jusqu'à présent que tout système récupère des données provenant de différentes sources (capteurs ou autres) pour en déduire des valeurs plus robustes utilisées au titre des informations pertinentes par exemple. Dans ce paragraphe, nous allons donc présenter une liste des techniques de fusion d'informations les plus classiques [DES 96].

3.2.3.1. Méthodes classiques

- Méthodes probabilistes : elles sont basées sur la théorie des probabilités. Elles permettent de mettre à jour la vraisemblance d'une hypothèse à partir d'une estimation précédente de cette vraisemblance et d'observations nouvelles [WAL 90][ABI 92]. Elles sont donc utilisées pour estimer un ou plusieurs paramètres lorsque les sources sont redondantes (plusieurs mesures sur une même variable). Les sources supposées incorrectes sont tout d'abord écartées puis l'estimation est réalisée avec les sources restantes. Les problèmes principaux sont que l'on se base sur des connaissances de probabilités a priori qui peuvent ne pas être réalistes et que les données à combiner doivent être de même nature.
- Utilisation d'estimateurs : Elle est utilisée dans l'estimation de paramètres de bas niveau (c'est-à-dire des mesures) et sert principalement dans la reconstruction d'environnement. Le filtre de Kalman est un des estimateurs les plus utilisés qui a pour but de prédire des paramètres à partir d'observations bruitées. Cette approche nécessite la connaissance d'un modèle mathématique, et la fiabilité des résultats dépend beaucoup de l'exactitude du modèle.

3.2.3.2. Méthodes liées à un traitement non probabiliste de l'incertain

- Théorie des possibilités : elle est basée sur les mesures de possibilité et de nécessité. Elle permet de gérer les notions d'imprécision et d'incertitude au moyen de distribution de possibilités et de leurs interactions réciproques. Son avantage est de pouvoir intégrer des informations de types différents.
- Théorie de l'évidence : elle se nomme aussi théorie des fonctions de croyance ou de Dempster Shafer. Ses avantages principaux sont qu'elle peut gérer des données hétérogènes dont certaines peuvent ne pas être numériques. Le deuxième avantage est sa capacité à modéliser l'ignorance.

3.2.3.3. Méthodes dérivées de l'intelligence artificielle

Il est parfois nécessaire de réaliser des déductions de haut niveau. On utilise pour cela des systèmes à base d'I.A. Nous trouvons ainsi les systèmes experts ou les techniques à base de « blackboard ». Ils ont pour but de réaliser des diagnostics, de trouver des relations entre entités ou d'interpréter des résultats par exemple.

3.2.3.4. Méthodes d'optimisation

- Réseaux de neurones : ils sont surtout utilisés dans les problèmes de classification [CHI 94]. Ils sont composés la plupart du temps de plusieurs couches et on déduit les résultats à partir de la propagation de stimuli à travers ces différentes couches, les stimuli correspondant en fait aux attributs à déterminer. On peut ainsi les utiliser pour classer les utilisateurs d'une interface adaptative [DIM 98]. Sa limitation est que le réseau utilisé ne peut reconnaître que des classes qu'il a apprises et risque donc d'être perturbé par la présentation d'un élément qu'il ne connaît pas.
 - Algorithme génétique : Sa principale caractéristique est qu'elle manipule une population de solutions qui va évoluer. En effet, l'information est codée sous forme de chromosomes, et la population évolue sous l'influence d'une sélection élitiste (où intervient la fonction à optimiser) et des opérateurs génétiques (croisement et mutation). Cette technique se rapproche de la notion d'épistasie, que l'on peut comprendre comme la recherche d'un optimum global dans un environnement complexe et multidimensionnel.
-

CONCLUSION DU TROISIEME CHAPITRE

Ce chapitre a permis de définir en quoi consiste réellement une interface adaptative ainsi que sa différence intrinsèque avec le concept d'adaptabilité. Nous avons pu voir que, pour obtenir ce type d'interface, le système doit posséder différents modèles dont celui de l'opérateur humain. Cela implique donc de savoir bien l'évaluer pour en obtenir une bonne modélisation. Des exemples d'évaluation ont été ainsi fournis à la fin de cette partie.

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté la technique de modélisation utilisée, la logique floue, au moyen de quelques définitions utiles pour la suite de ce mémoire comme la variable linguistique ou les caractéristiques d'un sous-ensemble flou. Cela a permis d'entrevoir la relative simplicité de cette technique.

Enfin les pré-requis étant maintenant définis, nous allons pouvoir aborder le concept d'adaptativité, tel qu'il a été mis en œuvre dans notre interface dans le prochain chapitre en commençant par celui qui se rapporte à la mission.

RÉFÉRENCES

Chapitre 3 : Adaptativité de l'Interface

- [ABI 92] M. A. ABIDI, R. C. GONZALEZ, « Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence », *Chapitre 3. Academic Press, Inc.*
- [BAL] L. BALINT, « Adaptive Interfaces for Human-Computer Interaction : A colorful Spectrum of present and future options ».
- [BEN 87] D. BENYON, P. INNOCENT, D. MURRAY, « System adaptativity and the modelling of stereotypes », *INTERACT'87*, Elsevier Science Publishers, IFIP, pp. 245-253.
- [BIS 92] P. BISSON, P. SOULARD, A. RAIMONDO and P. AKNIN, « Interfaces homme-machine multimodales et adaptatives pour systèmes opérationnels », *1^{er} Journées Internationales de l'Interface des mondes réels et virtuels*, Montpellier (France), pp. 591-603, 1992.
- [BRO 90] D. BROWNE, P. TOTTERDELL and M. NORMAN, " Adaptive User Interfaces ", *Academic Press*, 1990, 230 p.
- [CHI 94] L. CHIN, « Application of neural networks in target tracking data fusion », *IEEE AES*, volume 30(1), pp. 281-286.
- [DAN 86] F. DANIELLOU, « L'opérateur, La vanne, l'écran, l'ergonomie des salles de contrôle », *Collection outils et méthodes, Anact*, 440p, avril 1986.
- [DES 96] A.M. DESODT-LEBRUN, « Fusion de données », *Techniques de l'ingénieur*, traité Mesures et Contrôle, R 7 226.
- [DIM 98] M. DIMITROVA, G. JOHANNSEN, H.A. NOUR ELDIN, J. ZAPRIANOV and M. HUBERT, « Adaptativity in human-computer interface systems : identifying user profiles for personalised support », *IFAC-MMS*, Kyoto (Japan), 16-18 septembre 1998, pp. 467-472.
- [DUB 88] D. DUBOIS et H. PRADE, « Théorie des possibilités : application à la représentation des connaissances en informatique », *2nd edition*, ed. Masson, 292 pp.
- [GUE 91] T.M. GUERRA, « Analyse de données objectif-subjectives : approche par la théorie des sous-ensembles flous », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°9110*, Université de Valenciennes et du Hainaut-
-

Cambrésis, 5 juillet 1991.

- [HAA 87] **V. HAARSLEV**, « Human Factors in Computer Vision Systems : Design of an Interactive User interface », *Human-Computer Interaction INTERACT'87*, pp. 1021-1026.
- [HES 88] **B. HESKETH, R. PRYOR, M. GLEITZMAN and T. HESKETH**, « Practical applications and psychometric evaluation of a computerised fuzzy graphic rating scale », *Fuzzy Sets in Psychology*, Ed. T. Zétényi, Elsevier Science Publishers, pp. 425-454.
- [IBR 95] **B. IBRAHIM**, « Une nouvelle étape dans la convivialité : Les logiciels auto-éducatifs », *Informatique et Technologies modernes de l'Enseignement et de la Formation*.
- [ISH 95] **K. ISHIMARU, N. HARADA, K. YAMADA, A. NUKUZUMA and H. FURUKAWA**, « User Model for Intelligent Cooperative Dialog System », n° 0-7803-2461-7/95, pp. 831-836.
- [JOH 79] **G. JOHANNSEN**, « Workload and workload measurement », in *Mental Workload: its theory and measurement*, Plenum Press, New-York and London, pp. 3-11.
- [KOL 97] **C. KOLSKI**, " Interface Homme-Machine application aux systèmes industriels ", *HERMES 97*.
- [LAV 93] **V. LAVAL**, « Modélisation de l'activité d'opérateurs d'un système complexe dans une perspective de conception des supports informatisés - le cas du contrôle du trafic aérien - », *Rapport n°93039*, CENA.
- [NON 98] **H. NONAKA and T. DA-TE**, « Adaptive human interface based on fuzzy behavior model », *EUFIT'98*, September 7-10, Aachen (Germany), pp. 1707-1710.
- [OPP 97] **R. OPPERMAN, R. RASHEV and KINSHUK**, « Adaptability and Adaptativity in Learning Systems », in *Knowledge Transfer (Volume II)*, Ed. A. Behrooz, 1997, pAce, London, UK, pp. 173-179, ISBN -900427-015-X.
- [ROG 80] **D. ROGER et P. MILLOT**, « Ergonomie et Robotique : Le problème du dialogue Homme-Robot », 1980.
- [SEB 91] **S. SEBILLOTTE**, « Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs. De l'interview à la formalisation », *Rapport technique n°125*, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, Rocquencourt, France.
- [SPE 80] **J.C. SPERANDIO**, « La psychologie en ergonomie », *Presses Universitaires France, Le Psychologue*, 1980, 220p.
- [SPE 91] **J.C. SPERANDIO**, « Les méthodes d'analyse du travail en psychologie ergonomique », in J.P. ROSSI, Ed. *La Recherche en psychologie, Domaines et Méthodes*, Dunod, pp. 197-237, 1991.
-

-
- [TOT 87] **P.A. TOTTERDELL, M.A. NORMAN and D.P. BROWNE**, « Levels of adaptativity in interface design », *Human-Computer Interaction INTERACT'87*, pp. 715-722.
- [VIE 98] **F. VIENNE, A.M. JOLLY-DESODT and D. JOLLY**, « Application of fuzzy logic to the modeling of human operator in the framework of man machine interface », *CESA'98 IMACS, IEEE-SMC*, Hammamet (Tunisie), 1-4 avril 1998.
- [VIE 99] **F. VIENNE, A.M. JOLLY-DESODT and D. JOLLY**, « Use of Fuzzy Logic in an Adaptive Interface meant for Teleoperation », *HCI'99*, Munich (Germany), 22-27 August 1999, pp. 306-310.
- [WAL 90] **E. WALTZ, J. LLINAS**, « Multisensor Data Fusion », *Artech House*.
- [WAW 96] **F. WAWAK**, « Elaboration d'un système d'aide à la décision pour la supervision en téléopération : approche basée sur les théories des sous-ensembles flous et des possibilités », *Thèse de doctorat en automatique et informatique industrielle n°1733*, Université des Sciences et Technologies de Lille, 3 Mai 1996.
- [ZAD 78] **L. A. ZADEH**, « PRUF : a meaning representation language for natural languages », *International Journal of Man-Machine Studies*, 10, pp. 395-460.
-

Chapitre 4

Adaptativité par rapport à la mission

Ce chapitre présente la première forme d'adaptativité de notre interface. En effet, à chaque instant, le système doit afficher l'information la plus pertinente pour que l'opérateur puisse agir en conséquence. Nous allons tout d'abord présenter la structuration de la représentation de la mission que nous utiliserons dans TELEMAQUE 2. Nous aborderons ensuite la notion d'aide à l'opérateur. Enfin nous développerons les différents concepts mis en œuvre pour réaliser cette adaptativité.

4.1. Structuration de la mission

Pour faciliter la compréhension et la modélisation de la mission, nous allons utiliser plusieurs subdivisions basées sur la classification hiérarchique du C.E.A. [GRA 95]. Ainsi une mission de télérobotique se compose de quatre niveaux.

Au niveau le plus bas, l'*action* est l'entité de description de plus bas niveau qui ne repose pas sur des détails d'implémentation spécifiques. Elle correspond aux déplacements élémentaires de l'organe terminal ou à des comportements d'interaction entre le télérobot et son environnement.

Au niveau intermédiaire, la *tâche* représente une séquence d'actions qui réalise un but local associé à un objet unique de l'univers de travail. L'avantage de ce niveau est qu'il est parfaitement adapté à l'opérateur humain, à la différence du niveau action où l'on a besoin d'une connaissance robotique spécialisée (le langage). « Saisir un outil » est un exemple.

Ensuite vient le niveau *opération*. Il correspond à un ensemble de tâches destinées à mettre en œuvre un procédé particulier du domaine d'application. Il fait intervenir des équipements spécifiques (outils, capteurs, ...) dont l'utilisation a été étudiée hors-ligne. Par conséquent, c'est à partir de ce niveau que l'on prépare l'aide à l'opérateur. C'est le fondement de l'assistance symbolique. Par exemple, la « découpe plasma » est une opération.

Enfin, la *mission* débute avec l'introduction du télérobot dans le milieu hostile et se termine par son extraction hors de cet environnement. Cela implique la poursuite d'un objectif majeur qui peut être atteint en quelques heures ou en plusieurs mois. Par exemple, la réparation d'un conduit irradié.

A partir de cette décomposition, on peut déterminer la représentation possible de la mission.

4.2. Représentation de la mission

Au vu des besoins de la téléopération, nous pouvons extraire de la littérature quatre types de modélisation de la mission : le graphe multi-niveau, les réseaux de Petri et SADT, la méthode M.A.D. et la structure orientée objet. Ils sont maintenant successivement décrits.

4.2.1. Graphe multi-niveau

Le graphe multi-niveau [BAR 94] est très utile pour représenter les subdivisions de la mission. On obtient un schéma de la forme visible en figure 4.1.

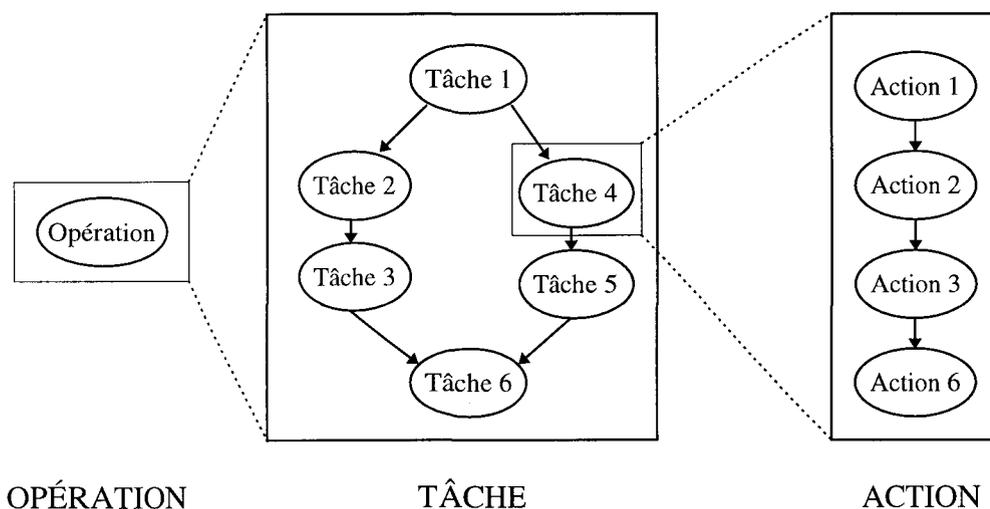


Figure 4.1 : Graphe multi-niveau

Ainsi une opération peut être décomposée en une ou plusieurs séquences de tâches. De la même façon, une tâche peut être subdivisée en plusieurs actions.

Ses avantages sont les suivants :

- La *généricité* : les composants de la mission (opérations, tâches et actions) sont enregistrés sous forme générique dans la base de données.
- La *richesse* : en effet, la connaissance de l'évolution de la mission est explicitement exprimée, puisque l'utilisateur peut de visu savoir où il se situe et ce que le système doit encore réaliser pour accomplir sa mission.
- Enfin, la *modularité* fait que les graphes sont facilement modifiables et exportables vers d'autres applications d'un niveau plus élevé comme par exemple dans un système de supervision.

Mais le problème vient du fait qu'il est parfois un peu trop rigide surtout dans le cas où l'on a besoin d'une base de connaissances importante. En effet, la base de données reprend en fait la « carte » représentative des interrelations entre les différentes entités d'un même niveau tout d'abord mais aussi entre celles de différents niveaux.

4.2.2. Réseaux de PETRI et SADT

Cette représentation repose sur deux moyens de modélisation ayant des fonctionnalités différentes et complémentaires [HAT 87].

Le but du SADT est de réaliser une décomposition hiérarchique de plus en plus fine. Ainsi grâce à des actigrammes SADT, on peut décrire l'enchaînement des tâches, les données en entrée, en sortie, celles qui contrôlent la tâche, ainsi que les mécanismes ou supports d'activité exprimant les moyens utilisés pour exprimer la tâche. Par conséquent, chaque tâche est définie par le quadruplet $T \{ E, S, C, M \}$ avec :

$\{ E \}$: ensemble des données d'entrée nécessaires pour activer la tâche.

$\{ S \}$: ensemble des données de sortie résultant de l'activité de la tâche.

$\{ C \}$: ensemble de données de contrôle précisant comment et en fonction de quoi se déroule la tâche (ensemble des buts et des pré-conditions).

$\{ M \}$: ensemble des mécanismes exprimant les moyens, homme et/ou ordinateur, utilisés pour exécuter la tâche.

Analysons maintenant le *réseau de PETRI* [JEN 93][BOU 93][GAU 93]. Le problème de SADT, c'est qu'il manque une composante temporelle. D'où l'utilisation des réseaux de PETRI pour décrire précisément dans le temps le déroulement des opérations correspondant à chaque bloc SADT. Un "RdP" est un graphe composé de transitions, de places reliées par des arcs orientés, il est défini par un sextuplet $R = \{ P, T, Pré, Post, M, E \}$.

L'utilisation conjointe de ces 2 formalismes fait apparaître au niveau des grandeurs E et C du bloc SADT, toutes les données secondaires nécessaires à l'évolution du réseau qu'elles soient relatives à la machine ou à l'opérateur et de type informationnel ou événementiel. Ainsi l'examen de ces grandeurs nous apporte les besoins informationnels de l'opérateur. Un exemple de tâche de supervision d'un réseau ferroviaire (tiré de [BEN 93]) est visible en figure 4.2. Un réseau de Petri décrit finement la tâche correspondant à un actigramme S.A.D.T.

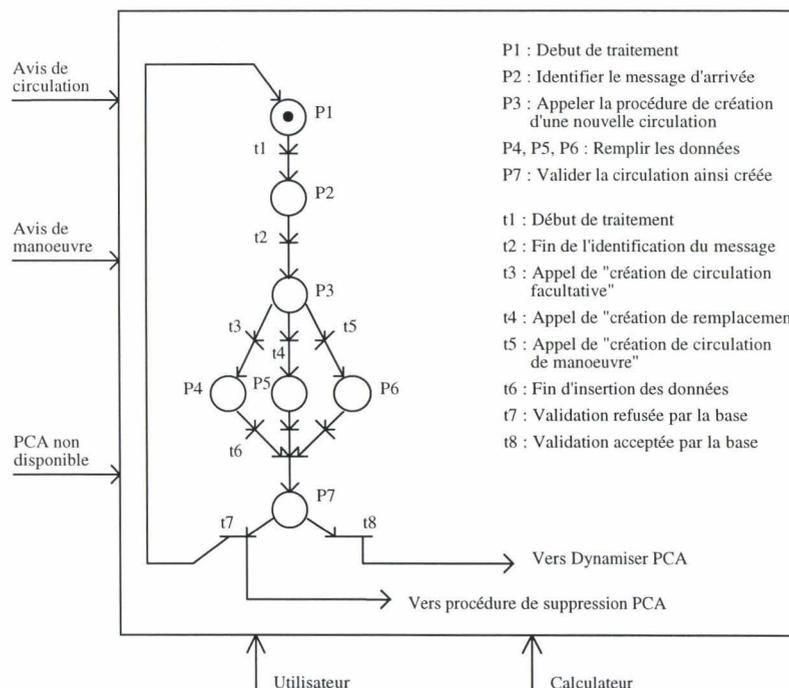


Figure 4.2 : Exemple d'utilisation conjuguée de réseau de PETRI et SADT

4.2.3. M.A.D. (Méthode Analytique de Description des tâches)

Dans ce formalisme, une tâche est représentée sous forme d'un arbre hiérarchique et est définie par les éléments suivants [BIS 92] : l'*état-initial* est un sous-ensemble de l'état du monde constitué de la liste des arguments d'entrée de la tâche, l'*état-final* est le sous-ensemble de l'état du monde constitué de la liste des arguments de sortie de la tâche. Un autre élément est le *but*. C'est un sous-ensemble de l'état-final, indiquant explicitement le but recherché que l'exécution de la tâche permet d'atteindre. Les *préconditions* (ensemble de prédicats) expriment les contraintes sur l'état initial qui doivent être satisfaites pour déclencher l'exécution de la tâche et les *postconditions* (ensemble de prédicats) expriment des contraintes sur l'état final qui doivent être nécessairement satisfaites après l'exécution de la tâche. Le dernier élément est appelé *corps*. C'est un niveau opérationnel indiquant comment la tâche peut être exécutée et qui est soit un traitement simple, soit une combinaison de tâches organisées en structure.

De plus la tâche se subdivise en deux selon la nature du corps. La tâche élémentaire (ou simple) a un corps qui est composé d'une entité indivisible. C'est donc une tâche indécomposable et dont le niveau opérationnel est caractérisé par une action élémentaire. La deuxième partie a comme libellé « tâche composée ». Son corps fait appel à un enchaînement structuré de tâches élémentaires. Un exemple de tâche est visible en figure 4.3.

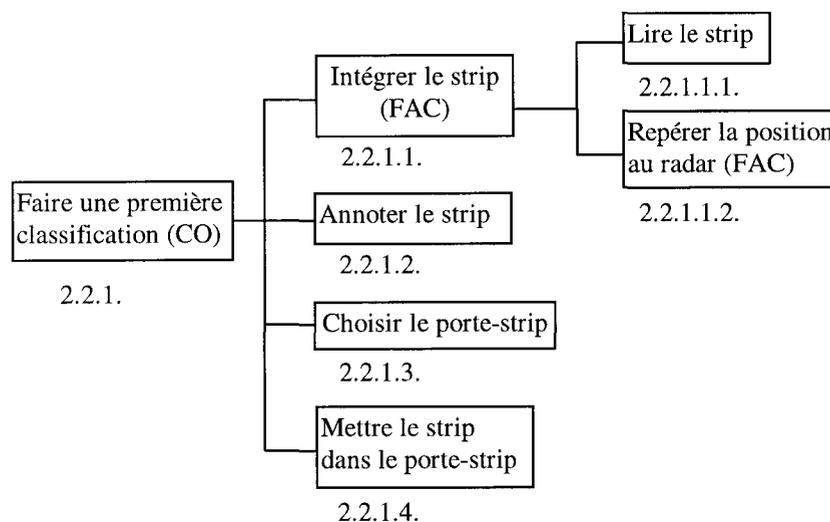


Figure 4.3 : Description d'une tâche humaine dans le domaine du contrôle aérien [ALO 96]

Dans cette figure, la tâche : *Faire une première classification*, est décrite par les composants suivants :

- Etat initial : id T2.2.
- Etat final : id état initial.
- But : faire un premier tri selon un critère donné (niveau ou direction)
- Préconditions : condition déclenchante : arrivée d'un nouveau strip n+1
Op = CO
radar et échelle radar = disponibles
critères de classification = choisis
Informations (indicatif, niveau, direction, route) = disponibles
- Postcondition : strip n+1 = classé (selon le critère choisi i.e. dans un porte strip de couleur) et annoté.

Cette méthodologie peut être ainsi par exemple être employée dans l'analyse de tâche en vue de l'extraction des caractéristiques pertinentes de chaque tâche dans le but de la conception d'interfaces [SEB 94].

4.2.4. Structure orientée objet

Son but est de regrouper plusieurs tâches relativement proches dans un objet unique, comme par exemple les tâches "prise" et "dépose d'outil", qui seront enregistrées dans l'objet OUTIL. Cette vision peut apporter plusieurs avantages [BAR 94].

Le *polymorphisme* est la faculté de donner le même nom à des fonctions ou opérateurs différents. Le deuxième avantage se nomme *généricité*. Il permet de créer des variantes de modules déjà existants sans modifier les modules eux-mêmes, de spécialiser des éléments génériques pour une application particulière tout en conservant ces éléments pour d'autres applications. Le troisième se nomme *modularité*. Les objets rendent les connaissances faciles à retrouver et à modifier. Enfin le dernier avantage est qu'il permet de définir pour chaque tâche importante une procédure spécifique à chaque niveau de la hiérarchie des classes d'objets de l'environnement, cette procédure étant généraliste (exemple : saisir en manuel) vers le sommet de la hiérarchie et plus spécialisée (exemple : saisir automatiquement un outil dans son râtelier) lorsque l'on descend vers les classes terminales; en général, la procédure la plus spécialisée est la plus efficace mais elle demande aussi le plus de ressources et lorsque celles-ci ne sont pas disponibles, on remonte à la méthode plus robuste attachée à la classe de niveau supérieur.

4.2.5. Solution retenue

Pour représenter la mission, nous utilisons un réseau de Petri, alors que pour la modélisation de la mission, nous employons la structuration orientée objet. Une des idées que nous avons développées est d'associer chacune des actions du robot à l'affichage de ses informations pertinentes. Cela nécessite en fait deux réseaux de Petri pour modéliser la mission. Les réseaux sont de ce fait synchronisés entre eux. L'avantage de cette représentation originale est surtout de faciliter le positionnement de l'opérateur humain par rapport au séquençage de la mission. La figure 4.4. présente ces deux réseaux de Petri. Chaque réseau de Petri peut se décomposer en plusieurs sous-réseaux comme un graphe multi-niveau. Nous pouvons voir ainsi l'évolution de la mission et son bon déroulement et en vis-à-vis l'affichage des informations relatif à la tâche entrain d'être exécutée.

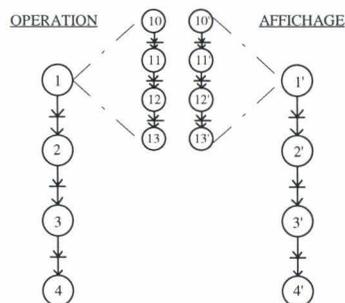


Figure 4.4 : Représentation de la structuration des missions pour le système TELEMAQUE 2

Chaque tâche est de plus modélisée sous la forme d'un agent. Et chaque agent développé comprend plusieurs paramètres. Les *préconditions* sont les conditions nécessaires et

suffisantes pour avoir la permission de réaliser l'action. Les *postconditions* vérifient si l'action a été réalisée comme il le fallait. Dans le cas contraire, cela permet de savoir où se situe le problème selon le paramètre de sortie non vérifié. Nous avons également des *procédures pour réaliser l'action* et *l'affichage en rapport avec la tâche* (modulées selon le degré d'expérience de l'utilisateur).

Ainsi si nous prenons l'exemple suivant de la tâche : PRENDRE OBJET, elle comporte les éléments suivants :

- *les préconditions* sont d'avoir une pince, que cette pince soit ouverte, que l'objet à saisir soit libre et enfin que la trajectoire d'approche soit libre de tout obstacle. Il faut que toutes ces conditions soient remplies pour pouvoir réaliser l'action, d'où l'utilisation du "et logique" (représenté par un point). De plus si une condition n'est pas remplie, alors le système accomplira une tâche qui résoudra ce manque. Ainsi par exemple, si le robot n'a pas de pince, le système effectuera la tâche "prendre pince".
- *les postconditions* sont d'avoir toujours la pince, mais fermée, et que l'objet soit pris. Si l'une de ces conditions n'est pas remplie, alors on doit replanifier la mission. L'avantage est que l'on connaît la cause de l'échec de la tâche.
- *les procédures* consistent dans le déplacement de la pince vers l'objet et en la fermeture de la pince pour emprisonner l'objet.
- *l'affichage* doit se modifier selon la tâche et le niveau de l'utilisateur (novice, moyen et expérimenté). Puisque le nombre d'actions possibles est de deux dans notre exemple, on devra donc à tout instant choisir un affichage parmi les six disponibles. La notion d'affichage est prise ici dans l'acceptation de représentation visuelle de l'aide et des informations reçues appropriées à la situation. Le "+" signifie que l'on ne choisira qu'un seul affichage parmi ceux disponibles.

Ce qui se traduit par :

- préconditions : avoir_pince . pince_ouverte . objet_libre .trajectoire_libre
si pas avoir_pince→PRENDRE_PINCE.
si pas pince_ouverte →OUVRIR_PINCE.
si pas objet_libre→REPLANIFICATION.
si pas trajectoire_libre→REPLANIFICATION.
- postconditions : avoir_pince . pince_fermée . objet_pris
si postconditions = False→REPLANIFICATION.
- procédures : DEPLACER_PINCE . FERMER_PINCE
- affichages :
DEPLACER_PINCE → NOVICE.AFFICHAGE_1 + MOYEN.AFFICHAGE_2 +
EXPERIMENTE.AFFICHAGE_3.
FERMER_PINCE → NOVICE.AFFICHAGE_4 + MOYEN.AFFICHAGE_5 +
EXPERIMENTE.AFFICHAGE_6.

Il y a donc dans chaque agent les caractéristiques d'exécution de tâches, de replanification et d'affichage, et enfin d'aide à l'opérateur. De plus, chaque tâche comporte parmi ses paramètres le niveau de l'opérateur qui influence prioritairement les différents affichages de

chaque opération de la mission. Un problème se pose au moment de l'exécution de la mission, il est lié à la difficulté à modéliser l'inattendu lors de la conception de la mission.

Dans le cas d'événements imprévus, le résultat se traduit par une modification du déroulement de la mission: le problème de savoir comment modifier les étapes pour pouvoir atteindre le but fixé se pose immédiatement. Pour ce faire l'utilisateur doit pouvoir réaliser les opérations suivantes :

- Expliciter l'ensemble des alternatives possibles pour l'opérateur humain.
- Vérifier que les étapes précédentes aient déjà été effectuées et signaler les objectifs encore à réaliser.
- Signaler les aspects positifs et négatifs de chaque choix possible.
- Enregistrer les nouvelles informations provenant de l'environnement.

Ceci nous donne la stratégie à suivre en cas d'incident. En premier lieu, on doit réaliser une inspection de l'environnement. Après cela, il faut replanifier selon les nouvelles données et selon le choix de l'opérateur. Vient ensuite l'exécution de l'alternative et la vérification du bon fonctionnement.

De plus pour faciliter la compréhension des problèmes, il faudrait les classer selon différentes notions comme par exemple leur nature (interne au robot, environnemental, ...), leur degré d'importance (risque d'explosion, de contamination, ...) et leur localisation spatiale qui permet de percevoir la nouvelle trajectoire, ...

Une fois la représentation de la mission définie, il s'agit de présenter le concept d'aide à l'opérateur, critère prépondérant dans toute création d'interface.

4.3. Aide à l'opérateur

La fonction d'aide est indissociable de toute interface homme-machine. En effet, l'opérateur doit pouvoir accéder aux deux types d'aide : navigationnelle (savoir se déplacer dans l'interface) et contextuelle (aide adaptée à la situation). De plus l'appel à ce service permettra aussi de vérifier l'évolution de l'expérience de l'utilisateur dans l'emploi de ce système.

4.3.1. Utilité de l'aide à l'opérateur

L'opérateur standard n'a pas la « science infuse » et n'a pas de « dons de voyance ». A partir de ces postulats, nous comprenons le besoin qu'a l'utilisateur de disposer de l'aide du système pour lui permettre de résoudre les problèmes impromptus ou pour comprendre les tâches automatiques gérées par le système. Ce besoin se situe à plusieurs niveaux : tout d'abord l'apprentissage avec une aide hors ligne utile pour comprendre le système, ensuite une explication des différents phénomènes qui apparaissent à l'écran, enfin une aide à la décision en cas de replanification de la mission. Ces besoins nous obligent à spécifier l'ensemble des caractéristiques de l'aide.

4.3.2. Services à intégrer

Ils sont au nombre de sept [LUT 87]:

1. *Service de situations* : explique la situation actuelle de la tâche en cours de réalisation. Typiquement, ces services sont requis pour les questions débutant par QUEL et les préparations de support d'action.
2. *Service d'étude des actions* : supporte la compréhension et la perception des présuppositions, modalités, effets et conséquences des actions. Pareil service est typiquement requis pour les questions débutant par COMMENT et POURQUOI et est dévoué à l'exécution et la commande d'action.
3. *Service de comparaison*: utilisé pour mettre en valeur, différencier et contraster ce qui a été réellement réalisé de ce à quoi l'utilisateur pouvait s'attendre et espérer. Ce service influe donc spécialement sur le niveau de motivation de l'utilisateur.
4. *Service de classification* : classe le système ou la performance de l'utilisateur en fonction des sources de performance standard. Ce service sert aussi à la préparation de l'action et au support de la commande de motivation.
5. *Services locatifs* : supportent l'orientation et l'établissement du point de vue des utilisateurs à l'intérieur de la tâche à exécuter. Ces services sont typiquement requis pour les questions débutant par QUI, QUAND et OU.
6. *Services illocutifs* : extraient, élaborent et complètent les buts de l'utilisateur et les intentions à partir de ce qu'il dit ou de la façon dont il agit.
7. *Service historique* : permet de rappeler à l'opérateur les dernières actions réalisées, lui facilitant ainsi la compréhension des problèmes rencontrés. Il permet de répondre aux questions débutant par POURQUOI.

Ces différents services regroupent toutes les aides possibles que peut apporter ce type de système. Nous présentons maintenant les différentes classifications envisageables pour ce type d'utilitaire.

4.3.3. Caractéristiques des systèmes d'aide

Nous pouvons dénombrer deux types de classification [LUT 87]. Une première classification peut être effectuée selon le mode d'activation du système, une seconde selon la flexibilité principale de sa réaction. Ainsi on peut rencontrer des systèmes d'aides de deux types : passif (système d'aide activé par des requêtes explicites de l'utilisateur) ou actif (système d'aide apparaissant dans le dialogue homme-machine de façon automatique dès que le système a l'impression d'être en présence d'un problème ou d'une mauvaise performance de l'utilisateur dans l'emploi du système).

La performance de l'opérateur peut-être définie par différents critères. Le nombre d'étapes nécessaire dans la résolution de la tâche en est un. Le nombre des résultats intermédiaires à mémoriser en est un autre [WAW 94].

Pour représenter les connaissances du système d'aide, on peut utiliser une approche orientée objet. Son intérêt se situe à plusieurs niveaux. Elle permet de rendre plus facile le dialogue homme-machine de niveau tâche qui s'exprime en termes d'objets physiques manipulés par le télérobot. Elle simplifie la modélisation des objets nouveaux en les déclarant comme instance d'une classe existante. Enfin un autre intérêt est d'attacher les procédures réalisant les tâches aux objets informatiques auxquels elles se rapportent. On pourra donc

avoir un même nom pour des procédures différentes mais qui réalisent à peu de chose près la même fonction.

De plus, pour faciliter la prise de décision de l'utilisateur, on peut représenter les différentes étapes de la mission sous forme de graphe type Réseau de Pétri avec ses divergences et convergences. Cela permet ainsi à l'opérateur de savoir si à l'endroit où il se situe, il peut avoir une alternative dans le séquençement de la mission ou si en cas d'incident, il a la possibilité de connaître le chemin de reprise du télérobot.

4.3.4. Aide navigationnelle

Elle doit aider l'utilisateur à obtenir les informations pertinentes qui lui sont nécessaires pour pouvoir se déplacer au niveau de l'interface ou pour connaître les actions à accomplir pour accéder à telle information [SHN 90]. Mais la pertinence d'une information dépend beaucoup de la personne qui l'a choisie [SPE 84]. On peut dénombrer trois types d'aide [PAS 92].

L'aide ponctuelle regroupe les aides navigationnelles les plus basiques et les plus classiques. Par exemple, on peut trouver les fonctions page précédente, page suivante, première page, dernière page et retour au sommaire. On rencontre également les boutons d'aide permettant une compréhension locale du problème (aide contextuelle). Enfin les liens avec d'autres parties ou fonctionnalités de l'interface peuvent se retrouver sous cette dénomination. Cela est possible par exemple sous forme de liens hypertextes ou d'icônes [UTT 89].

L'aide structurelle fournit des informations sur le contenu de la base de données de l'interface et son organisation. Cela doit surtout permettre à l'opérateur humain de s'orienter lui-même dans l'interface et l'aider à savoir où il se trouve et comment parvenir à sa destination. Cette aide peut se présenter sous la forme d'un affichage de l'arborescence de la base de données (comme par exemple l'explorateur Windows) dans le cas de systèmes non complexes. Dans le cas contraire, un problème de lisibilité pourrait apparaître. D'autres outils sont aussi classés dans cette catégorie. On dénombre les cas des filtres (dans le cas de l'amélioration de la lisibilité de l'affichage) et des index pour faciliter les recherches.

Enfin, l'aide historique est en relation avec le contexte temporel. Elle répond aux questions en rapport avec ce qui a déjà été fait et ce qui reste à faire. L'avantage est que l'utilisateur peut avoir accès aux différentes actions qu'il a déjà accomplies ou revisualiser les dernières tâches du système pour analyser d'où pourrait provenir un problème interne (notion de backtracking en quelque sorte).

4.4. Architecture de TELEMAQUE2

L'architecture de cette interface reprend les différentes notions que nous venons d'aborder. Ainsi, elle utilise les notions de modules, d'interface flexible (avec la possibilité d'avoir plusieurs utilisateurs ayant chacun leur particularité) et adaptative (puisqu'elle développe les notions d'adaptativité par rapport à l'utilisateur et par rapport à la mission à effectuer). Son architecture est visible en figure 4.5.

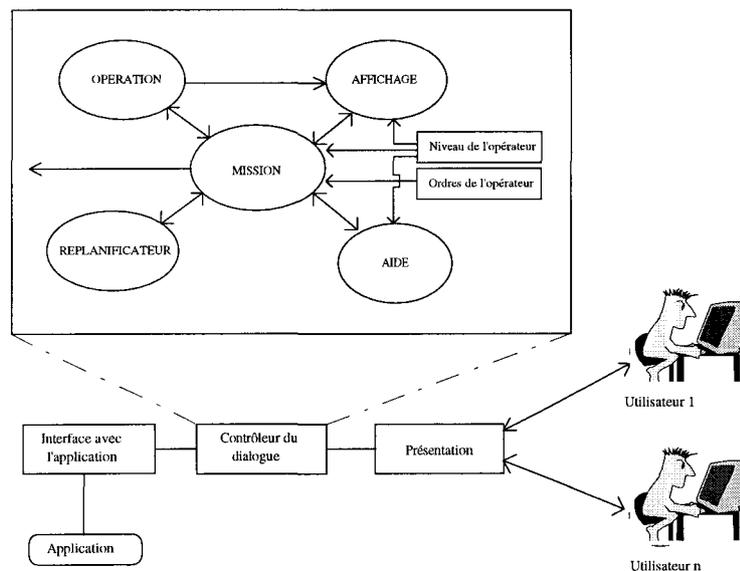


Figure 4.5 : TELEMAQUE 2 (tiré de [VIE 96a])

Les différents modules peuvent être regroupés en plusieurs « modules génériques ».

- MISSION : retrace les différentes tâches à accomplir pour réaliser la mission. C'est la base de toutes les activités possibles.
- AIDE : regroupe les notions de demande consciente d'aide, d'apport automatique en fonction de la tâche et/ou du problème, comprend également les explications apportées à l'utilisateur en fonction des incidents.
- REPLANIFICATEUR : lorsque la mission ne se déroule pas comme prévu, il y a obligation de la replanifier. Cet agent permettra à l'opérateur de connaître les éléments présents dans l'environnement ainsi que les différentes solutions envisageables d'après l'action à réaliser [MAS 95].
- OPERATION : ce module représente les composants de la mission qui font aussi appel dans leur déclaration aux agents d'affichage puisque l'idée est de développer un lien entre les informations affichées à l'écran et les tâches que le télérobot doit accomplir.
- AFFICHAGE : comprend l'ensemble des représentations des informations selon la tâche à accomplir et selon le niveau de l'opérateur.
- NIVEAU DE L'OPERATEUR : influe directement sur l'affichage, l'aide apportée à l'utilisateur et donc sur la mission en elle-même.

Une autre représentation de TELEMAQUE2 est envisageable. Elle reprend le formalisme d'un schéma-bloc et permet ainsi de modéliser les différents comportements disponibles au niveau de l'interface et les critères qui infèrent sur chaque élément. On peut aussi la décomposer en deux sous-parties selon le mode utilisé.

Pour le mode automatique, on peut représenter l'interface par le schéma :

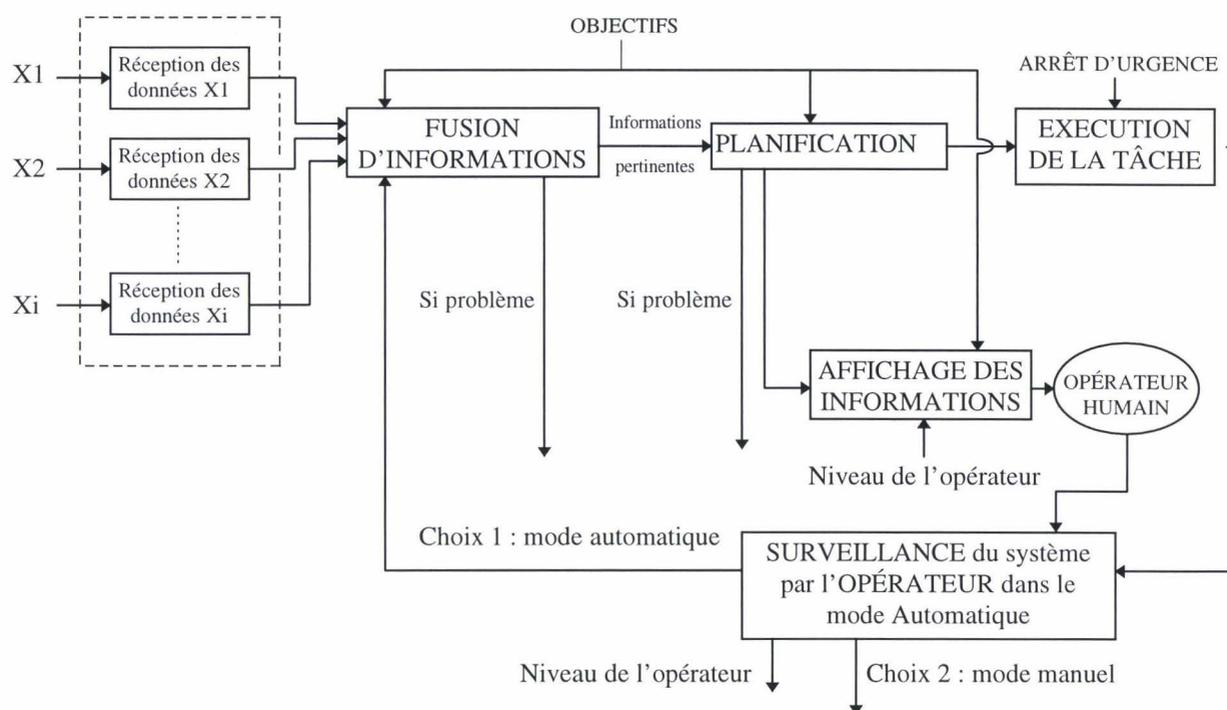


Figure 4.6 : Architecture de Telematique 2 en mode manuel

Nous pouvons remarquer que le niveau de l'opérateur modifie l'affichage des informations mais ce niveau est modifié par l'action de surveillance. En effet, la bonne utilisation de l'interface et la possibilité d'omission ou d'erreurs influent sur le niveau d'expérience de l'utilisateur.

Pour le passage en mode manuel :

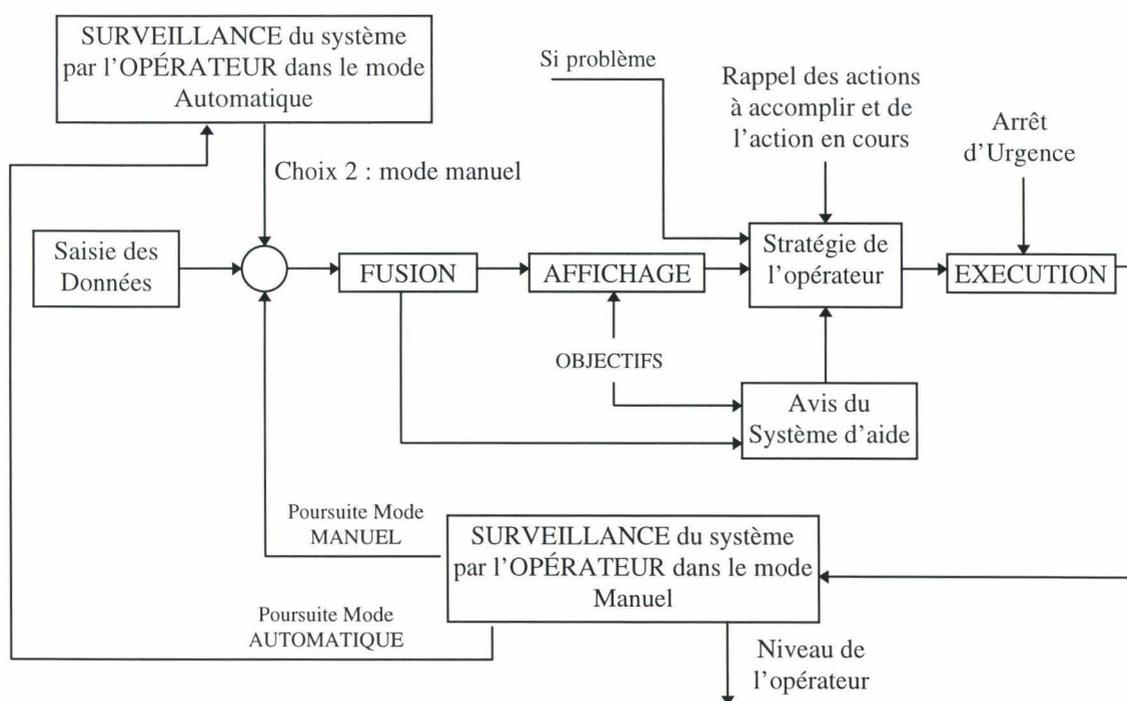


Figure 4.7 : Architecture de Telematique 2 en mode automatique

Ainsi avant d'exécuter l'action demandée, l'opérateur doit déterminer sa stratégie à partir des informations pertinentes affichées. L'utilisateur a de plus toujours la possibilité de repasser en mode Automatique.

Au niveau de l'exécution, le dispositif a besoin de savoir si la mission se déroule parfaitement ; il faut de plus que le module de fusion apporte les informations pertinentes vers l'affichage à l'écran. Ces deux besoins vont être satisfaits au moyen d'une modélisation floue de l'information. C'est cette notion que nous allons maintenant développer.

Après avoir présenté l'architecture de TELEMAQUE2, nous allons maintenant cibler notre explication sur la partie fusion d'informations qui est représentée sur la figure 4.8.

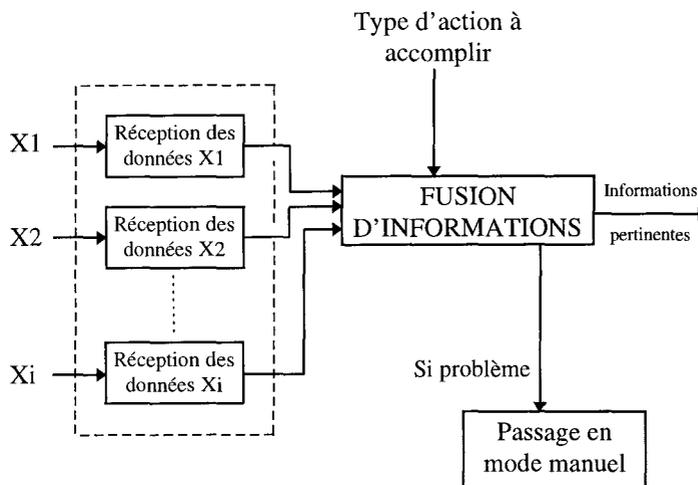


Figure 4.8 : Fusion d'information de TELEMAQUE2

Le but de cette fusion est de déterminer les informations pertinentes présentées au niveau de l'affichage ainsi que de vérifier si les informations sont suffisantes pour que l'action se déroule en toute sécurité.

Nous allons donc déterminer dans les chapitres suivants deux facteurs reprenant ces notions. Le premier se nomme « **facteur de sécurité** » et il détermine la présence ou l'absence de problème au niveau de l'exécution de l'action en cours et s'il y a un problème, il quantifie son degré d'importance. Le deuxième facteur est appelé « **facteur de pertinence** » et quantifie le niveau de pertinence des informations retournées.

Pour déterminer ces valeurs, le système utilise un formalisme basé sur la logique floue. C'est ce formalisme que nous allons développer.

4.5. Représentation floue

Un système de téléopération se compose d'un site maître où se situent l'opérateur et l'interface et d'un site esclave où se déroule la mission. Nous retrouvons à cet endroit les différents capteurs utilisés pour gérer le robot. Ces capteurs correspondent aux sources d'information du système. Ils peuvent être regroupés en plusieurs ensembles distincts d'après la tâche à accomplir. Cette idée peut être représentée par la figure 4.9.

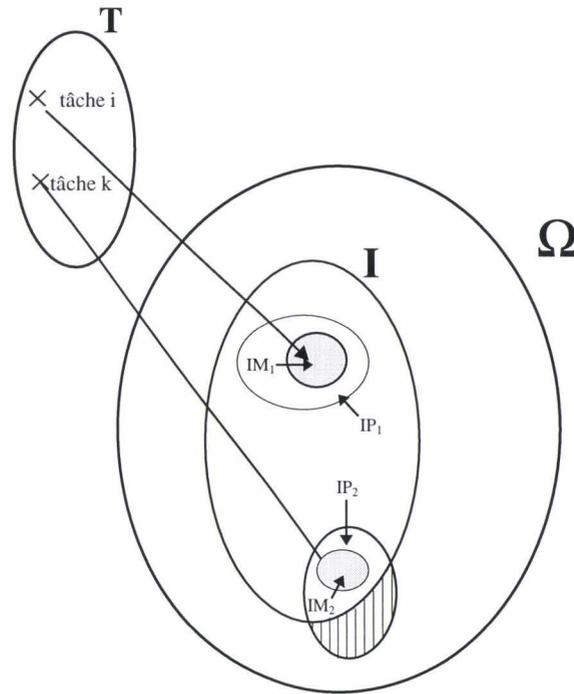


Figure 4.9 : Représentation des relations entre les différents groupes d'informations

Soient T , l'ensemble des tâches à effectuer, I , l'ensemble des sources d'information disponibles au niveau du site de travail et Ω , l'ensemble de toutes les sources d'informations envisageables, nous pouvons alors différencier deux ensembles parmi les informations fournies pour la réalisation de la mission. Il y a tout d'abord les informations dites minimales ou nécessaires (ensemble IM). Ces informations sont obligatoires pour pouvoir réaliser une tâche sans danger. Il est donc obligatoire que cet ensemble soit inclus dans l'ensemble I , car sinon une des tâches au moins ne pourra pas être réalisée. Par contre le deuxième ensemble correspond à la somme des informations pertinentes (ensemble IP) associées à chaque tâche. Ainsi, seuls les ensembles IP peuvent ne pas être totalement inclus dans l'ensemble I d'informations.

Ces notions de sécurité et de pertinence seront développées dans le paragraphe suivant.

Nous avons signalé au paragraphe précédent que le système utilise un formalisme basé sur la logique floue pour gérer le système et représenter les informations issues des capteurs et de l'opérateur humain. Nous utilisons une fonction d'appartenance pour représenter l'information provenant d'un capteur ce qui permet de modéliser l'imperfection de cette information.

Par définition, on considère que la mission optimale ayant été simulée, nous connaissons ainsi les domaines où pourraient se situer les valeurs de l'ensemble des données fournies par les différents capteurs à chaque instant. Nous entendons par mission optimale la réalisation des actions sans aucune erreur ou incident.

Nous supposons que ces domaines de validité sont représentés par une fonction d'appartenance de forme trapézoïdale, représentée par fa , visible en figure 4.10. Nous avons par conséquent quatre domaines différents dans le cas d'une information I provenant d'une source S (fa est alors représentée sous la forme $fa(S,I)$) :

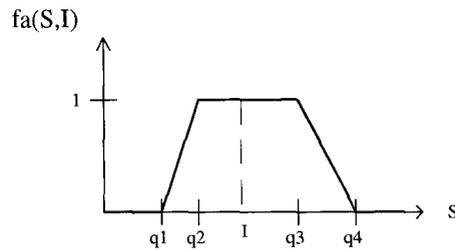


Figure 4.10 : Fonction d'appartenance représentant une information I provenant d'une source S

- Si $I \notin \text{Supp}(fa)$ (si $I < q_1$ ou si $I > q_4$) alors la source fournit une information hors norme. La cause peut être par exemple : un capteur non fiable ou un problème imprévu au niveau de l'environnement de travail. Nous obtenons alors $fa(S, I) = 0$.
- Si $I \in \text{Supp}(fa)$ et $I \notin \text{Noy}(fa)$ (si $I > q_1$ et $I < q_2$ ou si $I > q_3$ et $I < q_4$) alors cela signale que les informations sont quasi-fiables avec un degré de sécurité fa . Les informations sont simplement un peu inférieures ou supérieures à ce qui était préalablement prévu. Nous avons donc $fa(S, I) \in]0, 1[$.
- Si $I \in \text{Noy}(fa)$ (si $I > q_2$ et $I < q_3$), les informations sont dans le domaine prévu en fonction de la tâche à réaliser. Leur facteur de sécurité vaut 1.

Les sources S sont les capteurs du site esclave. Le nombre de calculs à effectuer par intervalle de temps dépendra donc énormément de la quantité d'informations retournées par ces capteurs.

Les domaines de validité ont été préalablement calculés par simulation de la mission pour obtenir une productivité optimale en supprimant tout risque de danger. Ainsi à chaque instant, les valeurs retournées par les différents capteurs sont comparées aux valeurs nominales. On peut alors en déduire les facteurs de sécurité.

Nous avons modélisé ces fonctions qui vont être décrites dans la partie suivante.

4.6. Concepts des facteurs de sécurité et de pertinence

Dans la partie précédente, nous avons abordé les notions d'informations minimales (IM) et pertinentes (IP). Nous allons représenter ces notions par l'intermédiaire de deux fonctions. La première est appelée sécurité et elle est en relation avec l'ensemble IM. Elle quantifie la bonne exécution de la mission à partir d'informations envoyées par l'ensemble (IM) des capteurs. La deuxième fonction se nomme pertinence et représente le degré de pertinence de l'information retournée par l'ensemble (IP) des capteurs. Les valeurs retournées par les différentes sources d'informations peuvent être de deux types : une valeur singleton ou une fonction d'appartenance.

4.6.1. Singleton

On considère dans ce cas que l'information retournée est précise. Elle est donc représentée par une valeur unique sous la forme d'un singleton car on considère qu'il n'y a pas d'incertitude sur la valeur. Nous allons maintenant définir les deux facteurs.

4.6.1.1. Facteur de Sécurité

Le problème de calcul du facteur de sécurité ou de risque peut être rendu possible par l'utilisation de valeurs floues permettant ainsi de restituer la notion d'imprécision [KAR 86]. Ces valeurs floues sont représentées dans notre application par des fonctions d'appartenance.

Le calcul du facteur de sécurité globale (ou facteur de risque de la mission) à l'instant t se décompose en plusieurs étapes :

- La première étape est de définir le facteur de sécurité de chaque source d'information mise à disposition du système et appartenant au groupe (IM) de capteurs. Pour cela on utilise le formalisme vu au paragraphe 4.5. Nous obtenons alors autant de valeurs numériques qu'il y a de sources d'informations.
- La deuxième étape consiste à calculer le facteur de sécurité global de la tâche T_j . Il correspond au produit des valeurs retournées de chaque source S_i indispensables à la résolution de l'action déterminées lors de l'étape précédente. Soit I_i , l'information provenant de la source S_i , nous obtenons pour le facteur de sécurité globale :

facteur de sécurité globale $f_S(T_j)$:

$$f_S(T_j) = \prod_{i=1}^n f_S^i(I_i) \quad \text{pour } n \text{ sources d'informations.}$$

Soient une tâche T_1 et trois sources d'informations nécessaires pour avoir le minimum d'informations requis. Nous obtenons alors :

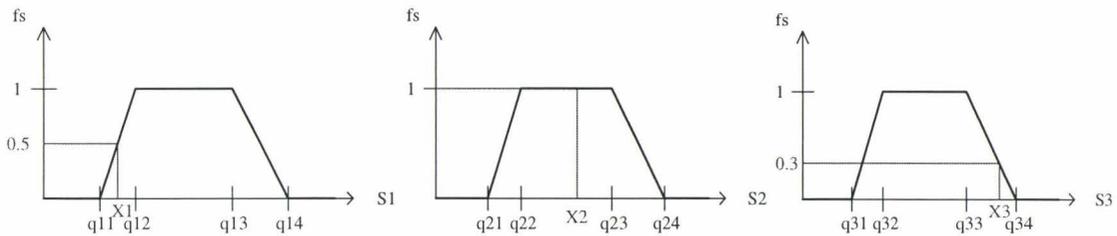


Figure 4.11 : calcul du facteur de sécurité global de trois sources d'information

Selon ces schémas, nous avons : $f_S^1(X_1) = 0,5$, $f_S^2(X_2) = 1$ et $f_S^3(X_3) = 0,3$

Le résultat nous donne : $f_S(T_1) = 0,5 * 1 * 0,3 = 0,15$.

Ainsi si une des fonctions d'appartenance est égale à 0, le résultat de la fonction de sécurité est égal à 0. Une valeur inférieure pondère de façon importante le résultat final. Ainsi si nous avons dix sources avec un facteur de sécurité de 1 et une source avec une fonction d'appartenance de 0,4, alors le facteur de sécurité global de la tâche sera de 0,4.

4.6.1.2. Facteur de Pertinence

La pertinence ne se situe pas au niveau de l'information même mais concerne plutôt le choix de la ou les sources d'information utilisées pour indiquer la bonne évolution de la tâche à accomplir. Ainsi, selon la figure 4.12, nous voyons que le choix pertinent des sources serait d'utiliser les capteurs CCD, de pression et ultrasonores.

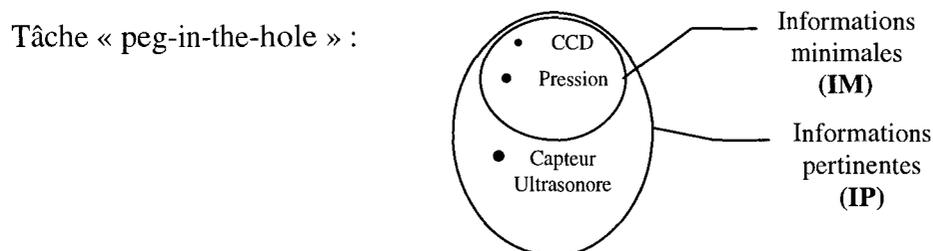


Figure 4.12 : Exemple sur les groupes IM et IP

La notion de sécurité est liée aux différentes valeurs retournées par les sources d'informations (IM). De la même façon, les informations pertinentes dépendent des sources (IP). Ainsi, la notion de pertinence des informations affichées dépendra essentiellement de la fiabilité des informations renvoyées par les différentes sources. Car, si la source renvoie des données n'ayant aucune relation avec la véritable situation du télérobot, elles ne pourront pas être considérées comme pertinentes. D'après la figure 4.12, ce seraient les capteurs CCD, de pression et ultrasonore qui constitueraient les sources pertinentes. En effet, une information provenant d'une source pertinente est intéressante, par définition, quelle que soit sa valeur si la source est fiable. Ce facteur n'est donc pas calculé à partir des informations renvoyées par les sources d'informations. En fait, il dépend de la fiabilité des différentes sources qui renvoient les informations pertinentes.

Les informations dites pertinentes peuvent correspondre à l'agrégation de plusieurs critères comme la figure 4.13 le montre.

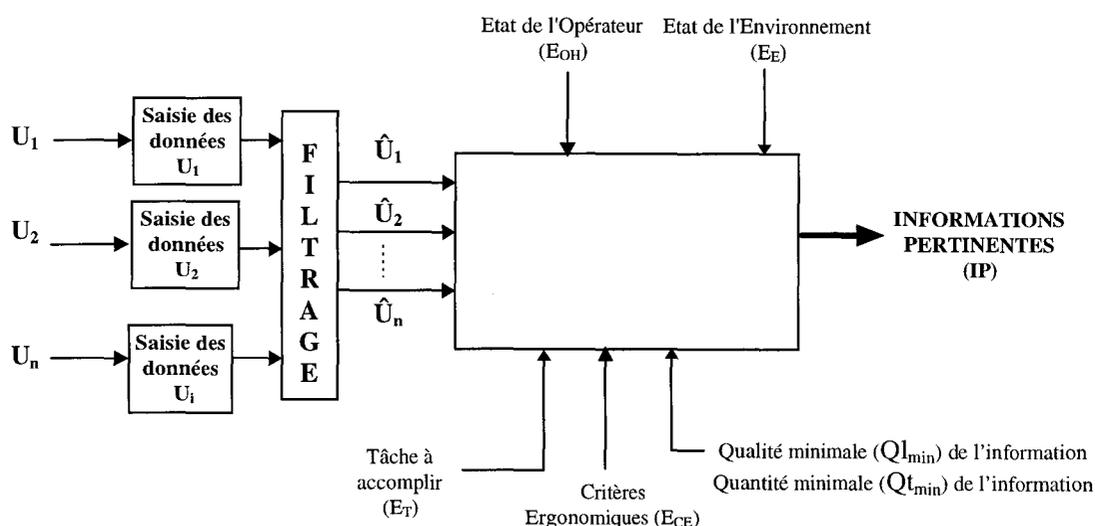


Figure 4.13 : Choix des informations pertinentes

Ces critères peuvent être regroupés en plusieurs ensembles. Tout d'abord, les données environnementales, qu'elles soient locales par l'intermédiaire des différents capteurs (U_1, \dots ,

U_n), ou globales liées à l'état de l'environnement (E_E). Ces valeurs, après avoir été filtrées, forment la base de toute recherche d'informations pertinentes. Le deuxième ensemble regroupe les informations externes à la tâche propre, cela comprend l'état de l'opérateur aussi bien psychique que physique (E_{OH}) et les critères ergonomiques indispensables à l'élaboration de l'affichage visuel de TELEMAQUE 2 (E_{CE}). Puisque le système doit s'adapter à la tâche à accomplir, le type de la tâche doit aussi être considéré comme un critère (E_T). Enfin, le dernier ensemble regroupe les notions de qualité minimale ($Q_{l_{min}}$) et de quantité minimale ($Q_{t_{min}}$). En effet, nous considérons que pour accomplir une tâche, le système et par conséquent l'opérateur ont besoin d'un minimum d'informations sous peine de ne pouvoir planifier l'exécution de façon sécuritaire. Nous définissons donc un indice de sécurité, qui est fonction de la quantité et de la qualité des informations reçues.

Le facteur de pertinence se calcule comme le facteur de sécurité mais dans le cas du traitement des informations pertinentes et non pas des informations minimales.

facteur de pertinence globale $f_p(T_j)$:

$$f_p(T_j) = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ij} \times f^i(I_i)}{\sum_{i=1}^n m_{ij}} \quad \text{pour } n \text{ sources d'informations}$$

Les valeurs de pondérations m_{ij} servent à classer les sources d'informations selon leur importance dans l'exécution de la tâche. f^i symbolise le facteur de fiabilité de la source i renvoyant l'information I_i , caractérisant ainsi la confiance que l'on peut accorder à celle-ci.

A la différence du facteur de sécurité où les informations traitées sont homogènes, le facteur de pertinence peut être obtenu à partir d'informations hétérogènes (cf. figure 4.13).

4.6.2. Modélisation de l'imprécision

On a jusqu'alors considéré la valeur fournie par le capteur comme exacte et insensible à toute modification de l'état de l'environnement. Mais en fait, un capteur est caractérisé par une fonction d'appartenance du type :

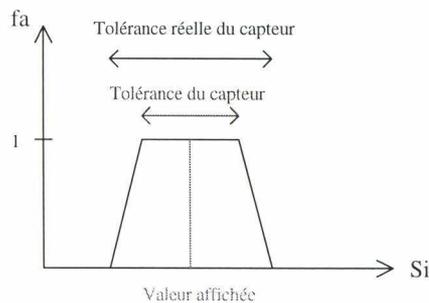
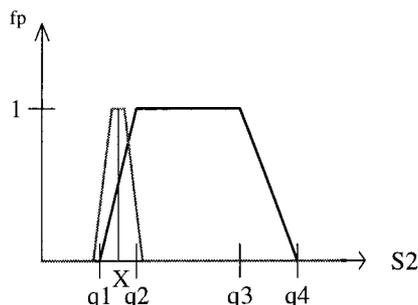


Figure 4.14 : Représentation de la fonction capteur

Cette fonction sera nommée "fonction capteur" ou f_c . Les sources sont donc considérées comme fiables mais les valeurs sont imprécises. Cette notion va donc modifier les fonctions d'appartenance des ensembles IM et IP de la façon suivante. Nous avons donc trois cas

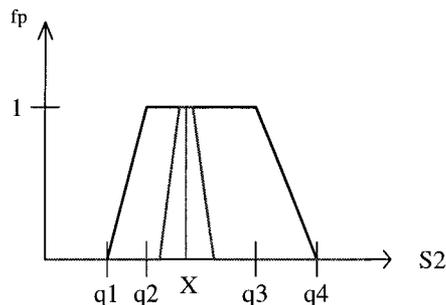
possibles dans la situation d'agrégation de l'information imprécise du capteur et de la fonction d'appartenance caractérisant la source d'informations (la fonction de pertinence pour le cas auquel nous nous intéressons) :

1er cas : $f_c(S_i) \cap f_p(S_i) \neq \emptyset$



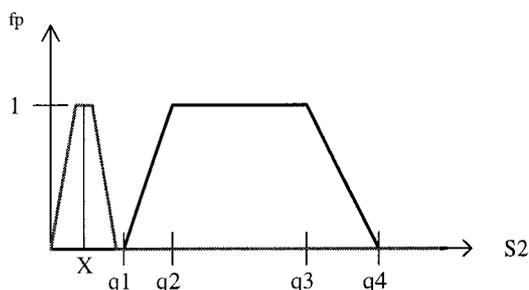
Nous sommes en situation de compromis entre les deux fonctions d'appartenance. Cela correspond au cas où la représentation de la sortie capteur n'est pas entièrement incluse dans le domaine de validité.

2ème cas : $f_c(S_i) \subseteq f_p(S_i)$



Nous sommes dans le cas idéal. Le domaine de valeur de l'information retournée par le capteur se trouve être inclus dans le support de la source d'information. La valeur est réaliste.

3ème cas : $f_c(S_i) \cap f_p(S_i) = \emptyset$



Nous sommes dans le cas où l'information renvoyée par le capteur se situe hors du domaine de validité de l'action pour le capteur.

Quelle que soit la valeur X, le résultat sera toujours le même : le facteur de pertinence sera nul pour la tâche T_j .

Cela peut se traduire dans le cas général par la figure 4.15 :

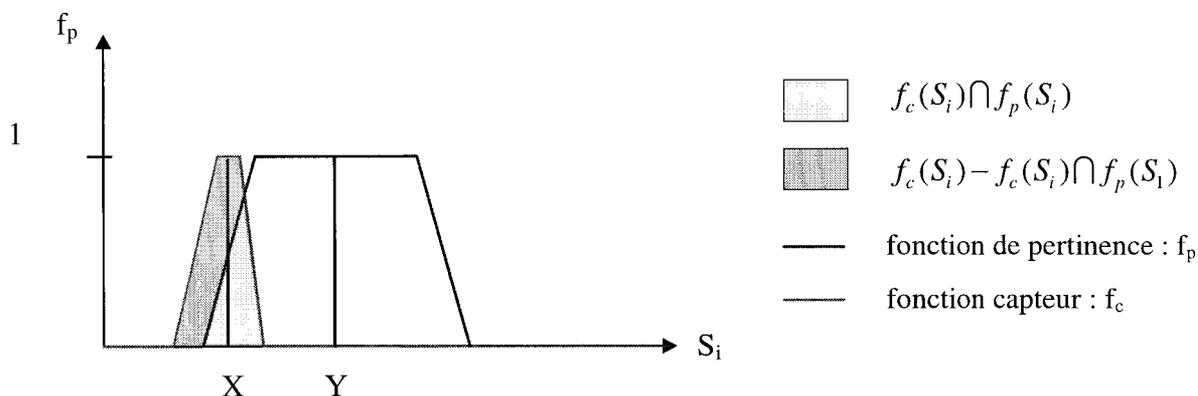


Figure 4.15 : Représentation du facteur de pertinence avec une fonction capteur

Le problème se pose donc dans le cas où la valeur de l'aire d'intersection est différente de zéro. Cela peut se traduire dans le cas général par « plus $f_c(S_i) \cap f_p(S_i)$ s'approche de la fonction capteur, plus la fonction de pertinence s'approche de 1 ».

Nous pouvons donc modéliser le facteur de pertinence par :

$$f_p = \frac{\int_{S_i} f_c(S_i) \cap f_p(S_i) dS_i}{\int_{S_i} f_c(S_i) dS_i}$$

Prenons l'exemple suivant pour synthétiser cette notion :

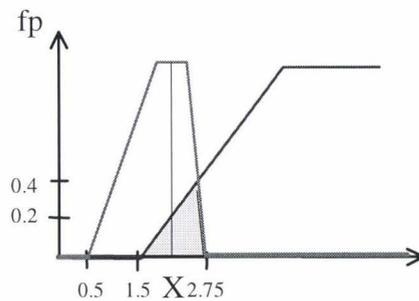


Figure 4.16 : Calcul du facteur de pertinence avec une fonction capteur

Nous avons comme résultat pour f_p :

$$f_p = \frac{0.4 \times (2.75 - 1.5)}{1 \times (2.75 - 0.5 + 2.5 - 2.0)} = \frac{0.5}{2.75} = 0.18$$

Le facteur de pertinence sera donc réduit pour cette situation. Mais dans le cas général, plus la zone d'intersection (en gris sur le dessin ci-contre) est importante plus le facteur de pertinence est important.

4.6.3. Visualisation dynamique des fonctions de pertinence et de sécurité.

Les facteurs définis l'ont été de manière statique. La mission étant dynamique, il est nécessaire que ces facteurs puissent évoluer. Nous obtenons donc des représentations de la forme :

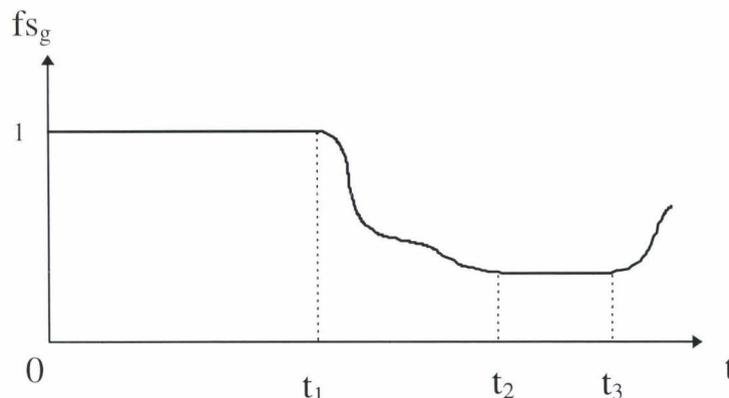


Figure 4.17 : Représentation dynamique de la fonction de sécurité globale

Ces zones peuvent s'interpréter de la manière suivante :

- $t \in [0, t_1]$: le facteur de sécurité vaut 1. La mission ne pose actuellement aucun problème.
- $t \in [t_1, t_2]$: le facteur de sécurité diminue. Il y a donc un risque possible de problème au niveau du site de travail.
- $t \in [t_2, t_3]$: le facteur de sécurité s'est stabilisé. Le problème a été détecté et est en cours de résolution.
- $t \in [t_3, +\infty[$: le facteur de sécurité augmente à nouveau. Le problème a probablement été résolu.

Nous allons par conséquent intégrer la notion de pente dynamique. A chaque instant, le système va calculer la valeur de la pente de la façon suivante

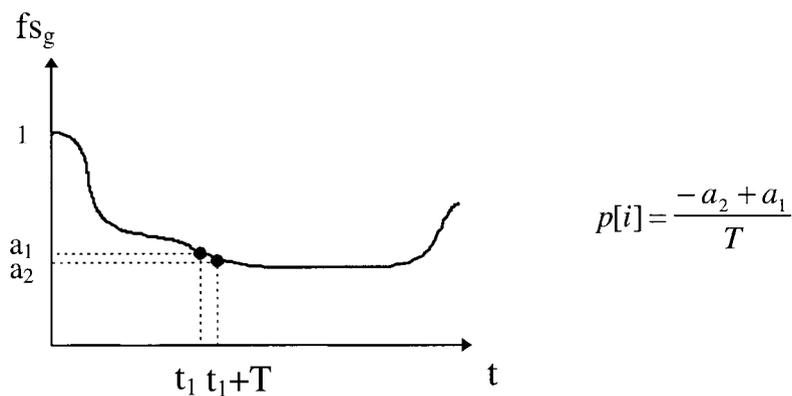


Figure 4.18 : Calcul de la valeur de la pente

Cette valeur est sauvegardée et elle est ensuite comparée aux seuils permettant de classifier la situation. La figure 4.19 reprend cette notion.

Ce calcul permet de constater une baisse soudaine du facteur de sécurité mais pas une dérive lente de celui-ci. On a donc introduit le calcul d'une autre valeur selon la formule suivante :

$$Evol[i, n] = \frac{\sum_{j=0}^n p[i - j]}{n}$$

L'utilisateur ou le système a ainsi la possibilité de vérifier l'évolution du système sur une plus longue période dans le cas par exemple de dérive du bras esclave.

Ces pentes vont pouvoir se situer parmi trois domaines distincts présentés sur la figure 4.19.

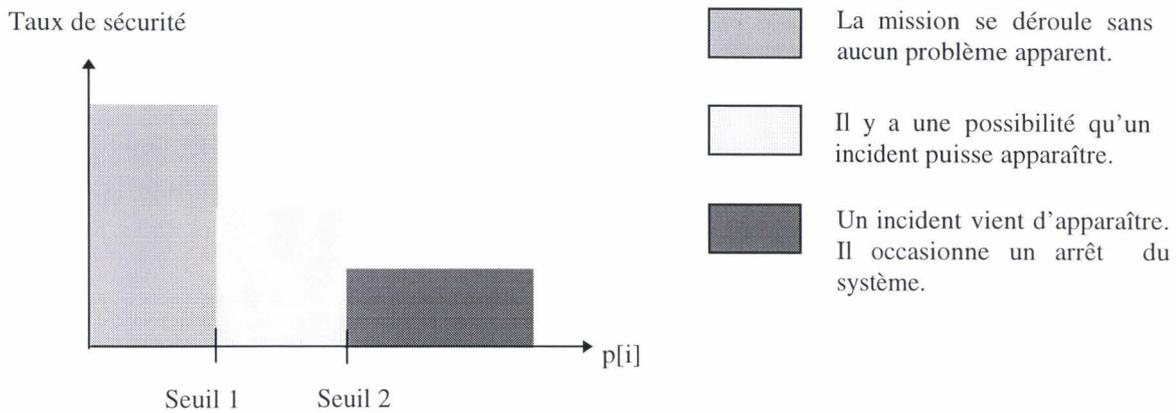


Figure 4.19 : Représentation des différents seuils

Cette notion est à rapprocher de celle du feu tricolore bien connu en conduite automobile. Ces deux seuils font la transition entre d'une part une situation idéale et une situation où la possibilité d'incident augmente et d'autre part entre cette même situation et une situation d'urgence. Cette notion d'imminence d'apparition de problème est liée à l'idée que lorsque la pente tend vers $-\infty$, le facteur de sécurité vient de diminuer fortement. Il y a donc au moins deux raisons principales à cela. Tout d'abord, la situation dégénère et par conséquent, les valeurs s'éloignent des intervalles nominaux. Mais il y a aussi le cas où un capteur tombe en panne. Dans cette situation, on constate que le facteur de sécurité globale tombe à zéro.

Le choix des valeurs de ces seuils est important puisqu'il va influencer fortement la décision d'arrêter le système ou d'y prêter une plus grande attention.

Dans notre application, nous avons pris les valeurs de 0.5 pour le seuil 1 et 0.25 pour le seuil 2.

Il existe aussi des méthodes basées sur la logique floue. Ainsi les travaux de GENTIL et MONTMAIN utilisent des systèmes d'inférences floues pour détecter les situations graves au niveau du système. A partir de résidus relatifs aux variables importantes du système, ils obtiennent par des règles floues, un état de normalité de ces variables entre 0 et 1 qui par la suite peut être symbolisé par des codes de couleurs [MON 96] [EVS 98].

Nous aurions pu aussi utiliser le concept de fenêtrage flou. Cette notion concrétise l'idée que plus l'événement est ancien, moins il est important comme le montre la figure 4.20. Les calculs d'évolution et de comparaison ne se font que sur les dernières périodes. Un gain au niveau temps de calcul sera une des conséquences appréciables de cette méthode puisqu'elle évite de traiter des informations qui ne sont plus en relation avec la situation actuelle.

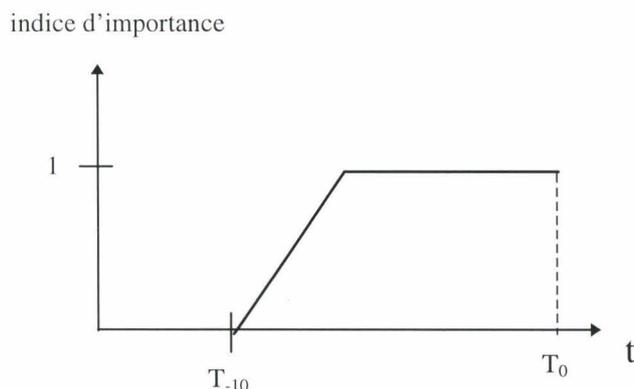


Figure 4.20 : Représentation d'un fenêtrage flou

Ainsi, les valeurs de la pente pourront être modulées par leur indice d'ancienneté. Cette notion sera aussi utilisée dans le cas de l'indice de périodicité que nous développerons dans la partie modélisation floue de l'opérateur.

Nous avons vu que les facteurs de pertinence dépendent de la fiabilité des différents capteurs appartenant à l'ensemble (IP). Nous allons donc présenter un moyen de déterminer la fiabilité des différents capteurs.

4.7. Vérification de la fiabilité des différents capteurs

L'une des sources d'informations peut tomber en panne. Nous utilisons les facteurs de sécurité et de pertinence pour connaître l'état réel de ce capteur. Si tous les facteurs qui lui sont associés sont égaux à zéro, il y a de fortes probabilités que la source soit actuellement hors service.

Nous pouvons donc estimer l'état d'un capteur par l'utilisation des facteurs de sécurité. Sur un graphe, nous représentons les sources de données par des noeuds et leurs interrelations par des arcs [LUO 88][GUE 91][VIE 96b]. Nous utilisons la notion de graphe causal pour faciliter la visualisation des résultats des différents calculs que nous allons présenter ci-dessous.

L'élaboration de ce graphe est décomposé en différentes étapes.

1^{er} Etape : Calcul de la matrice de distance D :

Soient $f_s^i(I_i)$ avec $i=1$ à n , les facteurs de sécurité des n sources d'informations. Nous obtenons alors pour le calcul de la matrice de distance D :

$$d_{ij} = n \times \frac{[f_s^i(I_i) - f_s^j(I_j)]}{\sum_{i=1}^n f_s^i(I_i)}$$

2^{eme} Etape : Calcul de la matrice de relation R :

Les coefficients de la matrice des relations entre les différentes sources d'informations, R, sont les suivants :

$$\begin{cases} \text{si } d_{ij} \in [-0.5, 0[\text{ alors } r_{ij} = -1 \\ \text{si } d_{ij} = 0 \text{ alors } r_{ij} = 2 \\ \text{si } d_{ij} \in]0, 0.5] \text{ alors } r_{ij} = 1 \\ \text{sinon } r_{ij} = 0 \end{cases}$$

La valeur 1 correspond à une flèche sortant du capteur i vers le capteur j .

La valeur -1 correspond à une flèche rentrant vers le capteur i à partir du capteur j .

La valeur 2 correspond à une flèche bidirectionnelle entre les capteurs i et j .

La valeur 0 correspond à une absence de lien entre le capteur i et le capteur j .

Ainsi une liaison bidirectionnelle signale que les deux capteurs renvoient des valeurs qui après calcul se trouvent être au même niveau de sécurité.

Une liaison unidirectionnelle précise le sens décroissant des degrés de sécurité.

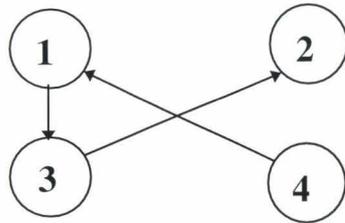
Ainsi si on fait la somme de chaque ligne de la matrice R, on pourra retrouver le capteur qui renvoie la donnée la plus proche de la valeur « théorique ». En effet, la somme la plus importante correspond au capteur ayant le facteur de sécurité le plus élevé.

Exemple n°1 :

Soient $f_s^1 = 0.7$, $f_s^2 = 0.3$, $f_s^3 = 0.4$ et $f_s^4 = 1$, nous avons donc pour la matrice D:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0.66 & 0.5 & -0.5 \\ -0.66 & 0 & -0.166 & -1.166 \\ -0.5 & 0.166 & 0 & -1 \\ 0.5 & 1.166 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \text{ Soit : } R = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Nous obtenons donc le graphe suivant :



L'intérêt de cette représentation concerne la visualisation des différents groupes de capteurs. Ainsi, nous pouvons assembler les sources en macro-sources selon leur origine. Grâce à cela, il sera aisé de voir si les résultats fournis sont communs à chaque ensemble de capteurs et, si il y a défaillance, de pouvoir situer à quel niveau elle se trouve.

Exemple n°2 :

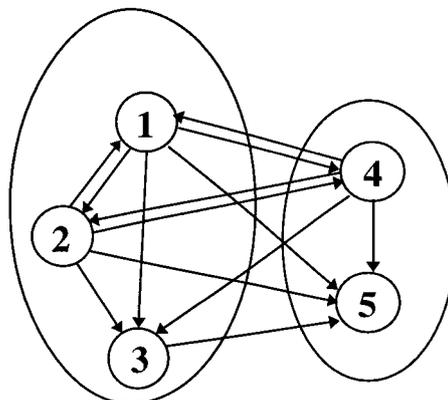
La tâche à surveiller consiste à prendre une pièce à l'aide d'une pince robotisée. Le site de travail possède deux types de capteurs : télémètre laser (3 exemplaires) et capteur d'effort (2 exemplaires).

A un instant t_0 , nous obtenons les valeurs suivantes :

$$f_s^1(I_1) = 1, f_s^2(I_2) = 1, f_s^3(I_3) = 0.9, f_s^4(I_4) = 1 \text{ et } f_s^5(I_5) = 0.8.$$

Nous obtenons donc pour R :

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ -1 & -1 & 2 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$



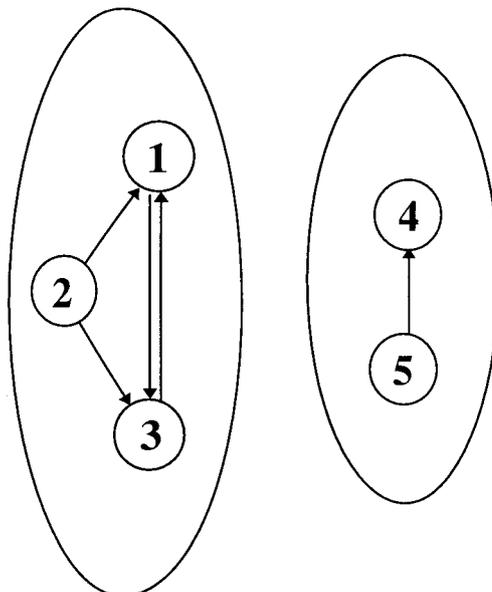
Le schéma présente la situation actuelle de la mission où tout est normal.

Le résultat est fiable et il n'y a visiblement aucun capteur en mauvais état de fonctionnement. A un instant t_1 , nous obtenons les valeurs suivantes :

$$f_s^1(I_1) = 0.9, f_s^2(I_2) = 1, f_s^3(I_3) = 0.9, f_s^4(I_4) = 0.2 \text{ et } f_s^5(I_5) = 0.3.$$

Nous obtenons alors pour R:

$$R = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & 2 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

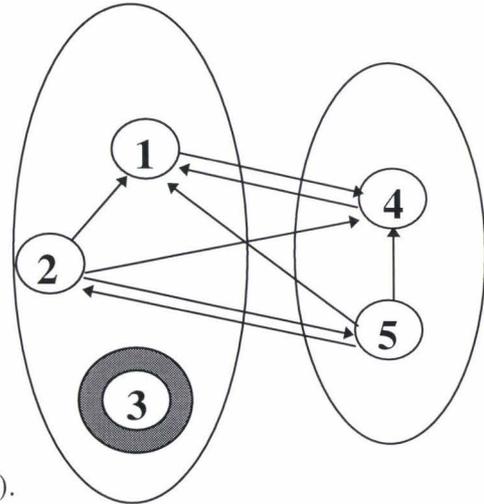


La situation a évolué : les capteurs de pression montrent qu'il se passe un incident au niveau de l'action. Les capteurs télémétriques ne détectent rien. Il y a donc possibilité de classifier ces informations pour comprendre la situation actuelle.

Nous avons alors deux ensembles : (1,2,3) et (4,5). A un instant t_2 , nous obtenons les valeurs suivantes : $f_s^1(I_1) = 0.9, f_s^2(I_2) = 1, f_s^3(I_3) = 0.1, f_s^4(I_4) = 0.9 \text{ et } f_s^5(I_5) = 1.$

Cela nous donne la matrice des relations suivante :

$$R = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 2 & -1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & 0 & 2 & -1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$



Nous obtenons donc deux ensembles : (3) et (1,2,4,5).

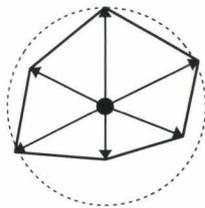
Cela nous impose donc une vérification de la fiabilité de la source d'informations n°3.

Ainsi nous détectons les problèmes de non compatibilité par la non vérification de la relation suivante :

$$\prod_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |r_{ij} \times r_{ji}| = 0$$

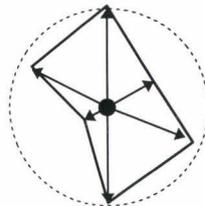
Une autre solution possible que nous nous aurions pu utiliser est le modèle polygonal. Dans ce cas, on représente uniquement les facteur de sécurité de la façon suivante :

Soit $f_s^1(I_1) = 1, f_s^2(I_2) = 1, f_s^3(I_3) = 0.9, f_s^4(I_4) = 0.5, f_s^5(I_5) = 1$ et $f_s^6(I_6) = 0.8$, nous avons :



Si au bout d'un certain instant, nous obtenons :

$$f_s^1(I_1) = 1, f_s^2(I_2) = 0.4, f_s^3(I_3) = 0.9, f_s^4(I_4) = 1, f_s^5(I_5) = 0.2 \text{ et } f_s^6(I_6) = 0.8$$



D'après MORAY, cette méthode est peu utilisée mais elle a l'avantage de représenter facilement l'état des facteurs de sécurité des différents capteurs. Mais si le nombre de capteurs

est important, il est plus difficile de déterminer visuellement quels sont ceux qui posent problème.

CONCLUSION DU QUATRIEME CHAPITRE

Ce quatrième chapitre a eu pour but de spécifier le concept d'adaptativité par rapport à la mission d'une interface adaptative. Ce concept est lié à de nombreuses fonctions comme l'aide du système qui doit s'adapter à la situation en cours.

Ainsi, cette partie du mémoire présente les différents schémas de fusion de données que nous avons appliqués à TELEMAQUE 2 via notre module de fusion. Ce dernier permet tout d'abord de savoir si la tâche courante est réalisable ou pas, puis de connaître les informations pertinentes qui lui sont associées. Le besoin de logique floue est la conséquence directe du type de données fournies par les systèmes industriels en général et les systèmes homme-machine de téléopération en particulier. Elles sont en effet le plus souvent incertaines et imprécises. Le choix de ce mode de fusion s'est donc imposé pour que TELEMAQUE 2 puisse s'adapter au mieux aux informations mises à sa disposition.

Après avoir expliqué en quoi consiste l'adaptativité par rapport à la mission, nous allons présenter la technique de modélisation de l'opérateur utilisant elle aussi la logique floue.

RÉFÉRENCES

Chapitre 4 : Adaptativité par rapport à la Mission

- [ALO 96] **B.M. del Mar ALONSO**, « Analyse des tâches mono et multi-opérateurs du contrôle aérien parle formalisme M.A.D. pour la spécification ergonomique de l'interface », *Thèse de doctorat en psychologie cognitive (ergonomie)*, PARIS V, 27 juin 1996.
- [BAR 94] **H. Le BARS, P. GRAVEZ and R. FOURNIER**, « Assisted supervision of a computer aided teleoperation system », *actes ORIA '94*, pp. 239-247.
- [BIS 92] **P. BISSON, P. SOULARD, A. RAIMONDO and P. AKNIN**, « Interfaces homme-machine multimodales et adaptatives pour systèmes opérationnels », *1^{er} Journées Internationales de l'Interface des mondes réels et virtuels*, Montpellier (France), pp. 591-603, 1992.
- [BOU 93] **S. BOUKHOBZA and A. DUSSAUCHOY**, « Realization of a system for graphic automation of Petri nets », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, systems Engineering in the service of Humans*, Vol n°4, Le Touquet, October 17-20, pp. 307-311.
- [EVS 98] **A. EVSUKOFF, S. GENTIL et J. MONTMAIN**, « Les systèmes flous pour l'aide en ligne aux opérateurs », *INIST CNRS*, pp. 121-126.
- [GAU 93] **B. GAUJAL, M.A. JAFARI and M.B. GURSOY**, « Performance Analysis of Timed Petri Nets », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, systems Engineering in the service of Humans*, Vol n°4, Le Touquet, October 17-20, pp. 312-316.
- [GRA 95] **P. GRAVEZ et H. Le BARS**, « Coopération homme-machine en téléopération assistée par ordinateur », *Journées Supervision et Coopération Homme-Machine*, 12-13 janvier 1995.
- [GUE 91] **T. M. GUERRA**, « Analyse de données objectifo-subjectives : approche par la théorie des sous-ensembles flous », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°9110*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 5 juillet 1991.
- [HAT 87] **HATLEY**, « SADT est un langage pour communiquer », *IGL technologie*, Editions Eyrolles, 1987.
-

- [JEN 93] **Mu Der JENG and Chient Lung SHIEH**, « A software tool for synthesizing Petri nets in automated manufacturing systems », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, systems Engineering in the service of Humans*, Vol n°4, Le Touquet, October 17-20, pp. 302-306.
- [KAR 86] **W. KARWOWSKI and A. MITAL**, « Applications of approximate reasoning in risk analysis », *Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986.
- [KOL 95] **C. KOLSKI**, « Méthodes et modèles de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine », *Habilitation à diriger des recherches en spécialité Informatique*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 4 janvier 1995.
- [LUO 88] **R.C. LUO, M.H. LIN and R.S. SCHERP**, « Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots », *I.E.E.E Journal of Robotics and Automation*, Vol 4, N°4, August 1988.
- [LUT 87] **R. LUTZE**, « Customizing Help Systems to Task Structures and User Needs », *INTERACT'87*, Ed. Elsevier Science Publishers B.V., pp. 871-878.
- [MAS 95] **E. MASKER**, " Programmation en ligne dans le cadre de la Téléopération ", *Rapport de DEA d'automatique et Informatique Industrielle*, Université des Sciences et Technologies de Lille Flandres-Artois, 1995.
- [MON 96] **J. MONTMAIN et S. GENTIL**, « Operation support for alarm filtering », *Symposium Computational Engineering in systems applications*, IEEE CESA'96, Lille.
- [PAS 92] **B. de LA PASSARDIERE and A. DUFRESNE**, « Adaptive Navigational Tools for Educational Hypermedia », *Computer Assisted Learning*, Ed. I. Tomek, 1992, pp. 555-567.
- [SEB 94] **S. SEBILLOTTE**, « Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interfaces », *Rapport technique n°163, programme 3*, Mai 1994, INRIA Rocquencourt.
- [SHN 90] **B. SHNEIDERMAN and G. KEARSLEY**, « HYPERTEXT HANDS-ON : an Introduction to a New Way of Organizing and Accessing Informations », *Addison-Wesley Publishing Company*, 1990.
- [SPE 84] **J.C. SPERANDIO**, « L'ergonomie du travail mental », éditions Masson, 130 pp, 1984.
- [UTT 89] **K. UTTING and N. YANKOLOVICH**, « Context and Orientation in Hypermedia Networks », *ACM transactions on Information Systems*, Vol. 7, n°1, January 1989, pp. 58-84.
- [VIE 96a] **F. VIENNE, A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Conception d'une interface homme-machine adaptable dans le cadre de la téléopération : TELEMAQUE 2 », *5èmes Journées Internationales de « l'Interface des mondes réels et*

virtuels ", Montpellier (France), 22-24 Mai 1996, pp. 41-50.

- [VIE 96b] **F. VIENNE, G. ZUNINO, A.M. JOLLY-DESODT and D. JOLLY**, « Application of Fuzzy Logic to the Fusion of Information in the Framework of Man/Machine Interface », *CESA'96 IMACS, IEEE-SMC, Symposium on Robotics and Cybernetics*, Lille (France), 9-12 Juillet 1996, pp. 416-421.
- [WAW 94] **F. WAWAK, A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Fuzzy characterisation of the human operator for a decision support system in teleoperation », *13^{eme} European annual conference on Human-decision making and Manual Control*, ESPOO (Finlande), 13-14 juin 1994, pp. 156-165.
-

Chapitre 5

ADAPTATIVITE PAR RAPPORT A L'OPERATEUR

La deuxième possibilité d'adaptativité est celle qui s'applique à l'opérateur. En effet, il existe plusieurs types d'utilisateurs et chacun de ces types évolue différemment dans le temps (en particulier en fonction de l'apprentissage, ...). Avant d'expliquer les concepts développés au niveau de TELEMAQUE2, nous allons présenter la méthode utilisée pour modéliser un opérateur. Car la première difficulté pour réussir une bonne adaptativité est de trouver les critères pertinents de modélisation.

5.1. Critères d' « humanisation » de l'interface homme-machine.

Selon BALZERT, on peut les regrouper en deux classes. La première concerne le « développement de la personnalité », tandis que la seconde se nomme « acceptabilité » [BAL 87].

L'objectif du « développement de la personnalité » est de créer un dispositif qui permette à l'utilisateur de réaliser les choses suivantes : augmenter ses connaissances et développer son habileté professionnelle, avoir la possibilité de personnaliser son interface d'une manière simple et efficace, développer et redévelopper les procédures de l'interface au vu des besoins individuels, modifier et améliorer les procédures de travail en accord avec les besoins individuels, rendre autonome l'interface par rapport à l'organisation du travail, réaliser une tâche avec l'aide en ligne pour la planification, la réalisation et l'inspection, économiser le nombre d'actions pour accomplir la mission et s'adapter aux qualifications de l'opérateur.

La notion d' « acceptabilité » regroupe les concepts suivants : la possibilité pour l'utilisateur d'employer une grande variété de ses aptitudes physiques ou mentales, la transparence de l'interface et la possibilité d'avoir une allure de travail flexible.

5.2. Modélisation de l'utilisateur.

Dans le cadre d'une interface homme-machine adaptative, l'intérêt de placer l'utilisateur dans une des catégories du classement (novice, moyen ou expert) est de lui fournir les informations pertinentes par rapport à son niveau. Ainsi, toute mauvaise estimation de la classe d'appartenance peut causer des risques d'énerverment et de stress si l'aide apporte plus d'éléments que nécessaire mais aussi des dangers si ce phénomène est inversé. Ce problème oblige alors la personne inexpérimentée à utiliser une interface où toutes les activités sont

clairement affichées pour lui permettre d'être dirigé à travers les différentes étapes nécessaires à un travail productif.

Pour synthétiser ces notions, nous pouvons utiliser la représentation mentale de la tâche par l'utilisateur qui se modifiera selon son niveau. Ainsi, si nous nous basons sur le schéma de WANNER [WAN 87], nous pouvons déduire plusieurs faits à propos de la différence débutant/expérimenté. Tout d'abord, plus le niveau d'expérience augmente, plus la période d'échantillonnage (temps entre chaque prise d'informations sur le système par l'opérateur) augmente, puisque l'utilisateur améliore sa connaissance sur la dynamique du procédé. De la même façon, sa compréhension du système lui apporte une plus grande facilité dans la transposition d'information et donc dans sa représentation mentale du système.

Ainsi lors d'une session de travail, l'opérateur doit mettre à jour l'image qu'il se fait du système. Cette image a la forme visible en figure 5.1.

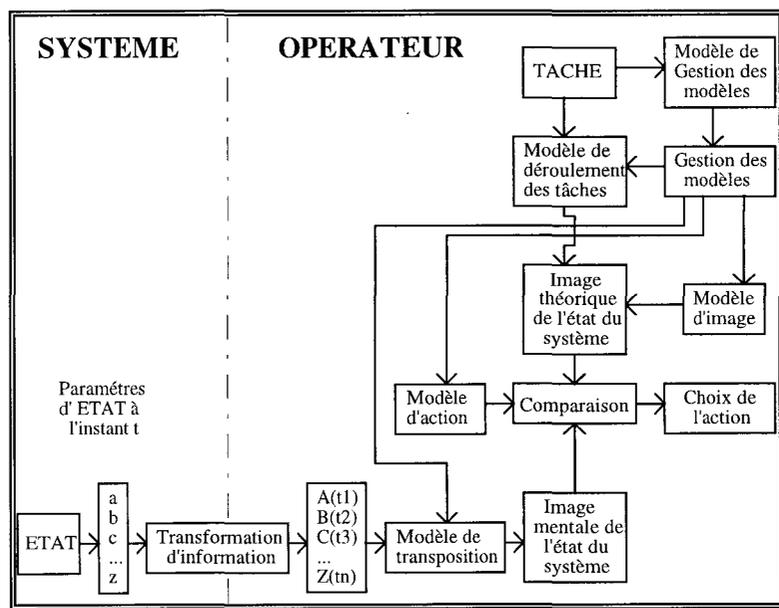


Figure 5.1 : Processus de formation de la représentation mentale d'après [WAN 87]

Explication :

1. A chaque instant t , l'opérateur décide de capturer une information en provenance du système.
2. Il lit la grandeur " a " et la transforme en $A(t1)$.
3. Il refait la même chose avec b, c, \dots à d'autres instants.
4. Le passage dans le " modèle de transposition d'image " permet de passer des grandeurs physiques prélevées à une représentation interne synthétique.
5. Elaboration de " l'image théorique de l'état du système " représentant la réalisation idéale de la tâche.
6. Enfin un " modèle d'action " permet à l'opérateur de choisir son action grâce à la comparaison de ses 2 images mentales : l'image de l'état estimé et l'image théorique. En effet, le but est de diminuer la différence présente entre elle deux.

Les représentations mentales donnent la possibilité de générer différents liens entre les actions de l'opérateur et l'environnement de travail : les liens *spatiaux* (relation de proximité entre deux éléments), les liens de *cause à effet* (utile pour prévoir la conséquence d'une action

utilisateur) et les liens *temporels* (possibilité d'approximer la durée d'une action et donc simplifier la planification d'activité) [DAN 86].

La représentation mentale est un concept spécifique à notre domaine d'application. En effet, par définition, l'opérateur n'a pas accès directement à l'environnement esclave. Il doit donc se faire une image de la scène de travail à partir des informations présentes au niveau de l'interface homme-machine [SPE 84]. Et par conséquent, plus l'image est proche de la réalité, plus l'utilisateur aura des facilités à accomplir sa tâche.

Un autre problème est le fait de vouloir personnaliser la nouvelle interface en fonction de la précédente pour pouvoir se sentir en situation plus familière. Pour le résoudre, il faut donc élaborer une interface modulable, seule capable de se modifier selon l'utilisateur et ses besoins. Selon les constatations de Marie-France BARTHET [BAR 86] les débutants sont plus discriminant que les expérimentés, c'est-à-dire qu'ils décident si il y a conflit ou non alors que les expérimentés ont une troisième possibilité : le "peut-être", ce sont les cas sur lesquels ils n'ont pas encore assez d'information. De même, au niveau de l'activité cognitive, les utilisateurs expérimentés ont une prise de décision plus rapide grâce à leur vision globale de la situation. Tandis que les débutants ont tendance à se focaliser sur chacun des éléments de peur d'oublier quelque chose.

Pour différencier le novice de l'expert, on utilise donc la notion d'image opérative [SPE 84]. Elle représente les images mentales qui accompagnent l'action de travail. Ainsi quand un utilisateur est confronté à un objet dont il reçoit des informations et sur lequel il devra agir, il a une représentation mentale de cet objet. Ses deux composants sont le *laconisme* (l'image ne retient de l'objet que les seules propriétés nécessaires à l'action) et la *déformation fonctionnelle* (c'est une réplique déformée de l'objet, par l'accentuation de ce qui est fonctionnellement important pour une tâche donnée dans un contexte donné).

D'après [DAN 86], la différence entre ces deux comportements est la notion d'anticipation des actions. L'expert peut grâce à ses connaissances du système et à son expérience prévoir le résultat de son comportement et de sa stratégie. Tandis que le novice manque d'information et doit donc observer le résultat de l'action en cours avant de décider de sa prochaine action. Le problème viendra du fait de la vitesse de succession des différentes actions à réaliser pour accomplir la mission. Ce type d'inconvénient peut s'avérer extrêmement dangereux dans des fonctions à risque comme le contrôle aérien où le novice doit être entraîné avant de pouvoir accomplir sa tâche [CHA 95]. On parlera plutôt de novice entraîné.

Enfin OKA et NAGATA ont montré que les novices n'arrivaient pas à percevoir l'intérêt des icônes, menus et l'aide en ligne. A l'inverse, les experts utilisent très fréquemment les raccourcis et l'aide en ligne [OKA 99].

5.3. Critères de classification de l'opérateur humain

Chaque utilisateur a ses particularités qui le diffèrent des autres. Il faut donc prendre en compte ses différences individuelles pour améliorer l'interaction homme-machine et son adaptativité [GRE 87].

Un opérateur peut être classé selon de nombreux critères évolutifs qui peuvent être répartis en quatre classes :

1^{er} classe : Connaissance

Parmi les critères que l'on prend en compte pour caractériser un utilisateur, nous trouvons la connaissance du système. L'utilisateur peut être novice, moyen ou expert. C'est justement cela qui va évoluer avec l'apprentissage de l'opérateur. La connaissance en informatique est aussi analysée. Trois stades sont présents : Informaticien, Bureautique ou aucune. Ce critère devra logiquement évoluer rapidement et influencer sur l'apprentissage. Enfin nous trouvons la connaissance dans le domaine de la mission. On teste à ce niveau les connaissances de l'opérateur sur l'environnement de travail, sur son ancienneté sur le système. L'utilisateur sera classifié en expert, connaissance générale ou aucune.

Ces critères sont quantifiés de la façon suivante. En ce qui concerne les connaissances en informatique et dans le domaine de la mission, elles sont déduites du questionnaire fourni avant la première utilisation du système (pour l'informatique) et avant la première réalisation d'une nouvelle mission (pour le domaine). Enfin pour la connaissance du système, elle dépend tout d'abord du nombre d'erreurs réalisées au cours de la dernière mission mais aussi du nombre de demande d'accès au module d'aide du système. Elle correspond en fait au critère principal pour réaliser le concept d'adaptativité de l'interface TELEMAQUE2.

2^{eme} classe : Condition physique

Elle peut-être bonne, moyenne ou mauvaise. Elle dépend tout d'abord de l'âge de l'opérateur. Car le vieillissement de l'organisme implique tout d'abord une diminution du nombre de neurones (problèmes d'audition de sons aigus), mais aussi une rigidification (problèmes au niveau cardio-vasculaire, articulaire et visuel) et enfin une baisse des défenses immunitaires. On peut aussi constater une baisse de la capacité de mémorisation à court terme.

Un autre critère pour caractériser l'état physique de l'opérateur est la prise en compte de la situation (nuit/jour). En effet le travail de nuit implique une autre stratégie de surveillance car il y a modification physiologique de l'opérateur qui s'adapte à la nouvelle situation [DAN 86].

Enfin, la durée écoulée depuis qu'il s'est connecté sera prépondérant. Un nombre trop important d'heures risque de diminuer le potentiel de vigilance de l'opérateur et de le mettre dans une situation de routine.

Ce critère est quantifié de la façon suivante. L'opérateur donne déjà son avis sur sa condition physique actuelle au niveau du questionnaire. De plus, son appartenance à ces différentes classes se modifiera selon le nombre d'heures passées sur le système.

3^{eme} classe : Charge de travail mentale

Elle peut-être bonne, moyenne ou mauvaise. Elle dépend du stress (bon et mauvais). En effet, le stress peut tout d'abord apporter une amélioration des capacités psychiques et fait donc office de stimulant mais il est de courte durée. Cela correspond au « bon stress ». Du côté opposé, il pénalise toutes activités de réflexion et empêche le cerveau de travailler de façon normale. Il faut donc pouvoir déterminer le niveau de stress de l'opérateur [FUK 99]. Un autre critère inhérent à la charge de travail est l'environnement de travail. Car un bruit résiduel ou une atmosphère saturée d'une odeur implique une baisse de la vigilance et de la concentration. Enfin nous trouvons tout comme pour la charge de travail physique la durée écoulée depuis qu'il s'est connecté.

Des travaux ont d'ailleurs montré [SIM] que la charge de travail mental pouvait être identifiée par le mouvement oculaire.

Ce critère est quantifié de la façon suivante. Tout d'abord, l'opérateur évalue sa propre charge mentale à partir du panel de questions proposées. Ensuite, le système va générer aléatoirement l'apparition d'une icône au niveau de l'interface. Il enregistrera alors le temps mis pour cliquer dessus. Plus le temps sera long, plus le système considérera que l'opérateur est en surcharge et s'adaptera en conséquence.

4^{ème} classe : Critères spécifiques

Deux critères spécifiques sont également utilisés :

- La périodicité d'utilisation, notée γ ,
- La capacité d'évolution, notée δ .

En effet, il faut aussi prendre en compte les caractéristiques propres de l'opérateur. Nous avons tout d'abord sa capacité d'évolution : cela consiste à comparer sa capacité d'apprentissage et de compréhension avec celle d'un opérateur standard qui a comme évolution la moyenne de tous les utilisateurs du système. Le deuxième critère considère le temps passé entre deux utilisations. On observe que l'augmentation de la durée implique une perte croissante d'informations sur les différents moyens de contrôle de l'interface.

Tous ces critères sont en fait des mesures floues [BAS]. En effet, à partir de quel nombre d'heures peut-on dire que l'opérateur est expérimenté? Aussi l'opérateur peut-être représenté par des schémas de ce type tels que celui de la figure 5.2.

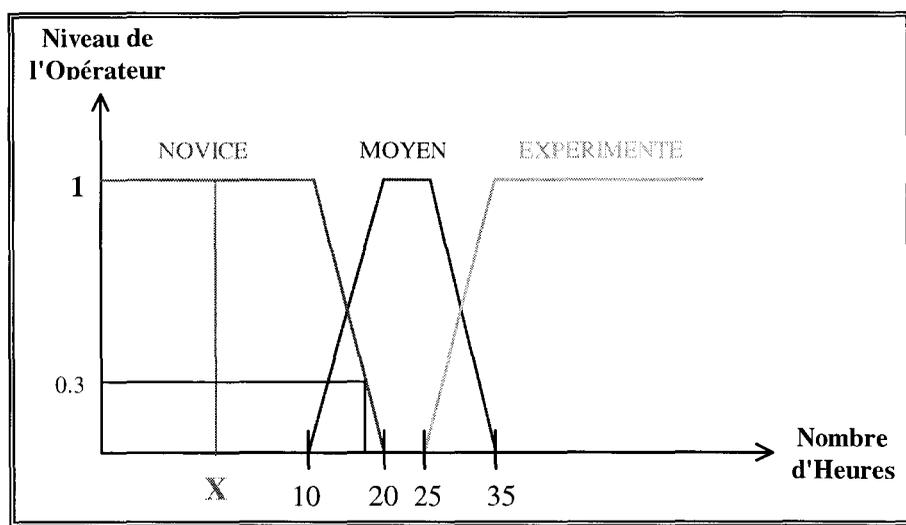


Figure 5.2 : Représentation des différentes classes d'appartenance de l'opérateur humain

Lors de l'initialisation des paramètres utilisateur, le système calculera ses appartenances aux différentes classes.

Si l'opérateur se situe dans la classe « novice », X correspond à la valeur la plus basse :

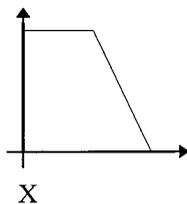


Figure 5.3 : Classe Novice

Si l'opérateur se situe dans la classe « expert », X correspond à la valeur la plus haute :

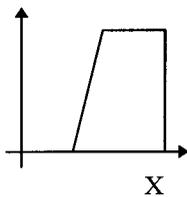


Figure 5.4 : Classe Expert

Si l'opérateur se situe dans la classe « moyen », X correspond à la valeur moyenne :

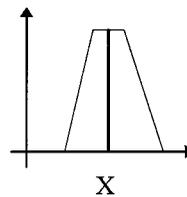


Figure 5.5 : Classe Moyen

L'évolution de ces paramètres se déroulera de façon régulière dès la première utilisation du système.

5.4. Variable linguistique

Pour modéliser l'opérateur, on peut créer une variable linguistique représentée par un triplet (V, X, T_v) , dans lequel :

- V est la variable correspondant à la connaissance du système TELEMAQUE2.
- X est l'ensemble de référence de la variable V. Dans la cas présent $X = \mathfrak{R}^+$.
- T_v est l'ensemble fini de sous-ensembles flous de X qui sont utilisés pour caractériser V.
 $T_v = \{\text{Novice, Moyen, Expérimenté}\}$

Nous pouvons en déduire une *distribution de possibilité* $\pi_{v,A}(x)$. Puisque par définition,

$$\forall x \in X \quad \pi_{v,A}(x) = f_A(x) \quad \text{avec } A \text{ un sous-ensemble flou de } T_v.$$

et une *mesure de possibilité* $\Pi_{v,A}(D)$ telle que :

$$\Pi_{v,A}(D) = \sup_{x \in D} \pi_{v,A}(x)$$

Prenons l'exemple suivant. Le nombre d'heures étant de 18, X appartient au sous-ensemble flou Novice avec un degré de 0,3. La possibilité pour que le novice ait passé un nombre d'heures entre 10 et 20 est de $\Pi_{v,A}([10,20]) = \sup_{x \in D} \pi_{v,A}(x) = 1$.

Ces représentations ne sont pas statiques. En effet, elles sont modifiées par l'action de deux modificateurs : δ et γ .

5.5. Evaluation floue

Le but de cette commande est de trouver la caractérisation la plus appropriée de l'opérateur pour réaliser la meilleure adaptativité possible.

Nous utilisons pour cela un tableau de règles à N dimensions. Prenons pour cela l'exemple suivant. On considérera pour cet exemple que le type d'affichage ne dépend que de deux critères : son expérience dans l'utilisation de l'interface et le nombre d'heures de travail depuis le début de la mission.

Chaque entité de l'interface (boutons, labels, zones textes, menus, ...) aura alors son tableau de règles qui lui sera spécifique. Dans le tableau 5.1, se trouvent caractérisées les règles appliquées à l'affichage d'un menu de commande.

expérience \ durée	NOVICE	MOYEN	EXPERT
COURT	Affichage 1	Affichage 2	Affichage 3
MOYEN	Affichage 1	Affichage 1	Affichage 2
LONG	Affichage 1	Affichage 1	Affichage 1

Tableau 5.1 : Choix du mode d'affichage

Nous pouvons remarquer que ce menu aura trois affichages possibles selon les différents cas envisageables.

En situation réelle, le système utilise plus de deux critères et il doit gérer un tableau de règles à plusieurs dimensions. Le nombre d'affichages peut donc fortement fluctuer entre le type d'entité. Par exemple, un menu peut être inaccessible ou accessible. Le nombre d'affichage sera égal à deux. D'un autre côté, le texte d'aide contextuelle peut avoir cinq versions différentes.

De plus il faut rajouter à ce tableau, une notion de pondération dépendant de la valeur d'appartenance aux différentes classes de la variable linguistique.

Ainsi soit l'exemple visible en figures 5.6 et 5.7 ,

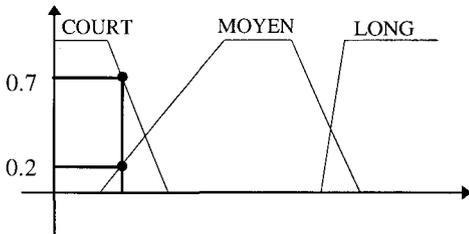


Figure 5.6 : Représentation de la durée

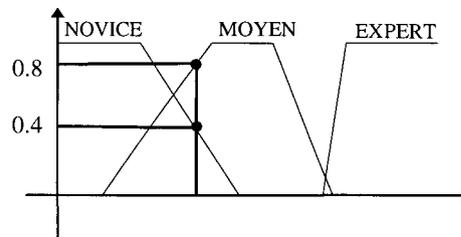


Figure 5.7 : Représentation de l'expérience

Nous obtenons comme résultats ceux visibles dans le tableau 5.2.

expérience \ durée	NOVICE (0.4)	MOYEN (0.8)	EXPERT (0)
COURT (0.7)	Affichage 1 (0.28)	Affichage 2 (0.56)	Affichage 3 (0)
MOYEN (0.2)	Affichage 1 (0.08)	Affichage 1 (0.16)	Affichage 2 (0)
LONG (0)	Affichage 1 (0)	Affichage 1 (0)	Affichage 1 (0)

Tableau 5.2 : Exemple de choix du type de représentation

A partir de ce tableau, le système déduira que c'est l'affichage 2 qui sera employé. C'est cette méthode qui est utilisée au niveau du choix du type d'affichage.

Dans le cas d'une égalité entre deux affichages, l'affichage se rapprochant le plus du niveau le moins expérimenté sera choisi.

5.6. Modification des valeurs standards des fonctions d'appartenance par un critère d'évolution, δ .

La difficulté vient du fait que chaque opérateur a une évolution qui lui est propre. Ainsi, soient deux utilisateurs α et β ; ils sont tous les deux non informaticiens et non experts dans le domaine de la mission. Mais si on examine leur évolution respective, on constatera certainement que l'un d'eux progresse plus rapidement que l'autre. Il faut donc nuancer ces fonctions d'appartenance par un facteur d'évolution lié à la personnalité propre de l'utilisateur.

Ce critère d'évolution ou d'apprentissage permet de synthétiser cette notion. En fait nous avons pu voir dans les paragraphes précédents que le critère « connaissance du système » se retrouve dans l'ensemble des tableaux de règles de chaque entité de l'interface. Ainsi δ peut modifier l'ensemble des affichages. Ce critère a comme effet de modifier les supports et/ou les noyaux des différentes fonctions d'appartenance. Cette modification va permettre de modifier les différents poids associés aux classes dans les tableaux de règles et ainsi agir sur le choix de l'affichage.

Le critère δ est défini de la façon suivante :

Si $\delta < 0$: l'utilisateur a des difficultés à s'améliorer.

Si $\delta = 0$: l'utilisateur a une progression standard.

Si $\delta > 0$: l'utilisateur fait des progrès et passe plus rapidement d'une classe à une autre.

Les modifications sont représentées par des modificateurs linguistiques qui réalisent des transformations sur les formes des trapèzes. Ci-dessous se trouvent des exemples de modificateurs appliqués.

- **Modification des formes des fonctions d'appartenance (critère δ) :**

Soit δ , ce facteur, il influe de la manière suivante sur la fonction d'appartenance de l'opérateur à un sous-ensemble flou appartenant à T_v :

↳ *Translation de la fonction d'appartenance (t_{m1}) :*

$$\boxed{t_{m1}(f_A(x)) = f_A(x - \delta)} \quad \text{avec } \delta = f(x) \text{ et } f_A \text{ étant la fonction d'appartenance de } A \text{ (} A \in T_v \text{),}$$

Ainsi si $\delta < 0$ alors l'utilisateur a des difficultés à s'améliorer. Par opposition, si $\delta > 0$, l'opérateur fait des progrès et passe plus rapidement d'une classe à une autre.

↳ *Modification de la largeur de chaque sous-ensemble de T_v (t_{m2} et t_{m3}) :*

Une deuxième modification de la modélisation floue de l'opérateur se situe au niveau de la modification de la largeur de chaque sous-ensemble de T_v . Le problème peut se scinder en deux cas. Soit d , le noyau $\text{Ker}(f_A)$, nous avons :

1er cas : $d > 2\delta$.

$$\begin{cases} t_{m2}(f_A(x)) = \max(f_A(x-\delta), f_A(x+\delta)) \text{ si } \delta < 0 \\ t_{m3}(f_A(x)) = \min(f_A(x-\delta), f_A(x+\delta)) \text{ si } \delta > 0 \end{cases}$$

➤ *Elargissement* ($\delta < 0$)

L'opérateur reste dans cette classe plus longtemps.

Nous avons alors :

$$\begin{cases} Ker(f_A(x)) \cap Ker(f_A(x-\delta)) \neq \emptyset \\ Ker(f_A(x)) \cap Ker(f_A(x+\delta)) \neq \emptyset \end{cases}$$

$$t_{m2}(f_A(x)) = \max(f_A(x-\delta), f_A(x+\delta)) \text{ si } \delta < 0$$

➤ *Rétrécissement* ($\delta > 0$)

L'opérateur reste dans la même classe pendant une période plus courte.

$$t_{m3}(f_A(x)) = \min(f_A(x-\delta), f_A(x+\delta)) \text{ si } \delta > 0$$

2ème cas : $d < 2\delta$.

$$t_{m2}(f_A(x)) = \min(\max(f_A(x-\delta), \alpha), \max(f_A(x+\delta), \beta))$$

avec :

$$\begin{cases} \alpha = 1 \text{ pour } x \geq x_1 \\ \alpha = 0 \text{ pour } x \leq x_1 \end{cases} \text{ et } \begin{cases} \beta = 1 \text{ pour } x \leq x_2 \\ \beta = 0 \text{ pour } x \geq x_2 \end{cases}$$

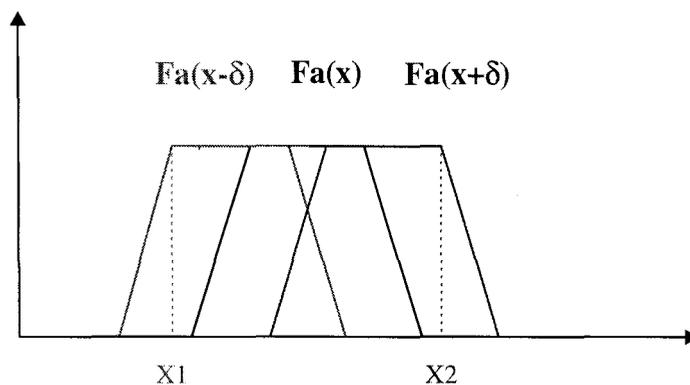


Figure 5.8 : Modification de largeur dans le cas $d < 2\delta$

On peut donc représenter l'évolution de l'opérateur par une courbe modélisant l'évolution du critère δ .

Supposons que la figure 5.9 représente la fonction δ .

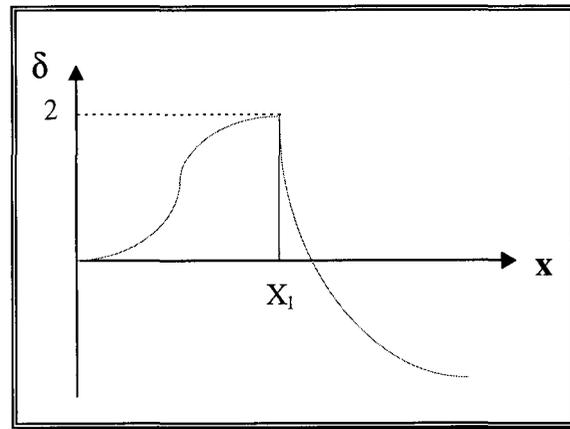


Figure 5.9 : Représentation du critère d'apprentissage

Nous pouvons déduire plusieurs éléments de ce graphique. Tout d'abord, pour $x \in [0, X_1]$, l'opérateur s'améliore plus rapidement que ce qu'avait prévu le système. L'augmentation était faible au début puis cela s'est accéléré par la suite. A $X = X_1$, l'amélioration est à son optimum. Ensuite pour $x \in [X_1, +\infty]$, on obtient une courbe descendante, cela veut simplement dire que l'utilisateur est arrivé à ses limites et ne peut plus évoluer aussi rapidement. Lorsque δ devient négatif, l'opérateur prend de la même façon du retard sur les valeurs standards d'évolution. Cette valeur d'évolution dépendra d'autres critères comme le niveau de connaissance en informatique ou dans le domaine de la mission.

En fait ce type de courbe peut-être obtenu de deux façons. On peut tout d'abord faire passer différents tests aux opérateurs et en déduire leurs valeurs d'apprentissage. La difficulté sera de déterminer les bons tests et de réaliser des estimations les plus réalistes et strictes possibles. La deuxième méthode consiste à utiliser la comptabilisation des erreurs et du nombre d'appel à l'aide navigationnelle ou contextuelle. L'évolution de ces valeurs peut apporter un support dans la détermination de δ .

• **Modification de la vitesse d'évolution de l'opérateur (critère δ') :**

Une autre possibilité pour modéliser la capacité d'apprentissage est l'utilisation d'une échelle relative et d'une échelle absolue pour chacun des critères. Ainsi, l'échelle absolue est basée sur l'évolution de l'opérateur standard.

Cette idée est la duale de la précédente. Ici, ce ne sont plus les fonctions d'appartenance des sous-ensembles flous qui vont évoluer mais au contraire c'est la vitesse d'avancée de l'opérateur qui va être modifiée selon la valeur de δ' . Ainsi, nous aurons deux domaines de valeurs pour chaque critère. Le premier correspondra à celui sans transformation et le deuxième si la valeur de δ' induit des modifications.

Le critère δ' est défini de la façon suivante :

- si $0 < \delta' < 1$: l'utilisateur a des difficultés à s'améliorer.
- si $\delta' = 1$: l'utilisateur a une progression standard.
- si $\delta' > 1$: l'utilisateur fait des progrès et passe plus rapidement d'une classe à une autre.

La transformation pour $\delta' = 2$ correspond à la figure 5.10 :

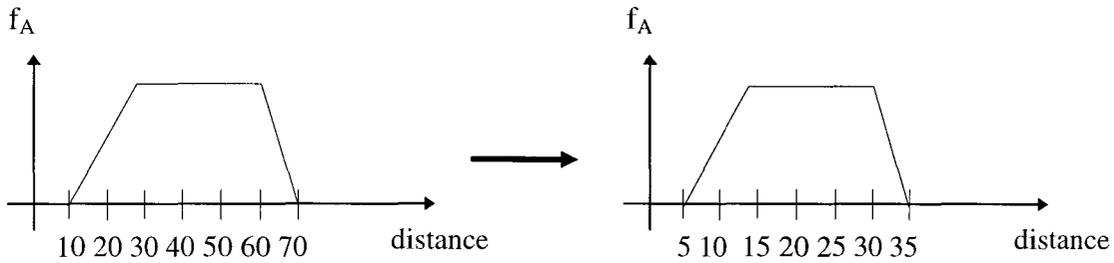


Figure 5.10 : Modification de l'échelle de la fonction d'appartenance

Prenons l'exemple suivant :

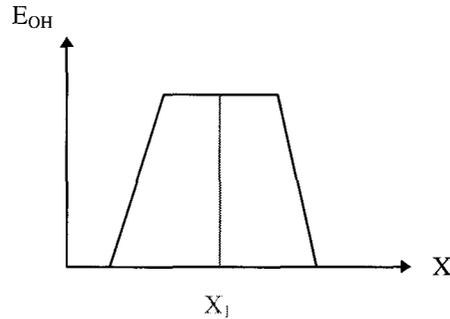


Figure 5.11 : Exemple de classe d'appartenance

En fait la translation des fonctions d'appartenance correspond à une augmentation de la vitesse de parcours de l'opérateur i concernant le critère j le long de X . Cette augmentation de la vitesse d'évolution est en fait la valeur de l'accélération d'évolution, qui est en fait très fortement liée au facteur d'évolution δ' . Ainsi si nous avons une courbe d'évolution de la forme visible en figure 5.12.

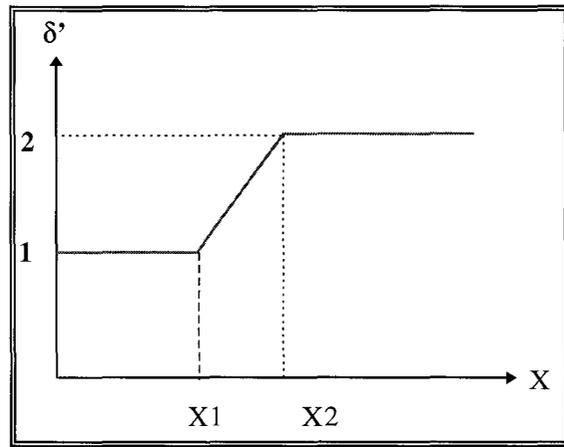


Figure 5.12 : Courbe d'évolution d'un opérateur

La vitesse d'évolution de l'opérateur i par rapport au critère j , va évoluer en plusieurs phases. Tout d'abord, pour $X \in [0, X_1]$, nous avons une vitesse d'évolution de 1. Cela veut dire que l'opérateur va aussi vite que l'opérateur standard. Puis pour $X \in [X_1, X_2]$, la vitesse passe de 1 à 2, c'est-à-dire que l'utilisateur va évoluer de plus en plus rapidement jusqu'à se stabiliser à deux fois la vitesse d'évolution standard. Enfin pour $X > X_2$, on obtient une vitesse constante de valeur deux.

La valeur δ' est aussi modifiée de la même façon que δ par le comportement erroné de l'opérateur.

Dans les deux cas, on peut considérer comme erreurs : le retard, la répétition, l'omission (la tâche n'a pas été réalisée), une mauvaise réalisation (une tâche a eu un résultat incorrect ou a été réalisée à un moment inapproprié) et une réalisation inopportune (c'est une tâche non attendue qui a été réalisée). Ces erreurs seront traitées par l'interface au moyen de codes d'erreurs qui seront sauvegardés puis traités pour en déduire le niveau d'utilisation de l'interface. Cette notion sera développée dans l'annexe 2. Nous classifions ainsi les erreurs en deux ensembles. Le premier dépend de l'utilisation de TELEMAQUE2. Le deuxième est lié au succès de la mission. Il faut de plus rajouter le nombre d'appels au module d'aide contextuelle et navigationnelle.

5.7. Modification des valeurs standards des fonctions d'appartenance par un critère de périodicité, γ .

Un entraînement pour qu'il puisse être profitable, doit incorporer une notion de périodicité de séances entraînement. Ainsi l'évolution de chaque utilisateur dans l'emploi de l'interface, dépendra aussi bien de sa rapidité d'évolution propre que de la durée écoulé entre chaque utilisation. Ce critère utilise la même technique que la détermination de δ' présentée au paragraphe précédent.

Ce critère est aussi défini selon trois zones :

- $\gamma=1$: Périodicité standard. Les fonctions d'appartenance des différents critères ne subissent aucune transformation.
- $\gamma \in]0,1[$: Augmentation de la périodicité. L'opérateur évolue plus rapidement que l'opérateur standard.
- $\gamma > 1$: Baisse de la périodicité. L'utilisateur travaille moins souvent. La progression est moins rapide que celle de l'opérateur standard. Il y a une possibilité de régression.

Nous allons de plus n'utiliser que les dernières informations fournies en introduisant la notion de fenêtrage flou. Ce concept, déjà développé dans la première partie, va nous permettre de donner des importances différentes aux informations obtenues séquentiellement.

5.8. Evolution de l'état de l'opérateur humain

Soit n le nombre de critères utilisés pour définir l'appartenance de l'opérateur à l'une des trois classes. Nous avons à chaque instant, n triplets de valeurs de type $\{N_i, M_i, E_i\}$ avec $i \in [1, n]$, correspondant aux degrés d'appartenance de l'opérateur aux classes Novice, Moyen et Expert respectivement pour un critère i .

Alors nous avons n points dans un repère cartésien $R(x, y, z)$. Pour un critère donné :

- x est le degré d'appartenance de l'utilisateur à la classe "Novice",
 - y est le degré d'appartenance de l'utilisateur à la classe "Moyen",
 - z est le degré d'appartenance de l'utilisateur à la classe "Expert".
-

Les trois valeurs sont délimitées par les valeurs 0 et 1. Par conséquent, tous ces points appartiennent à un cube élémentaire représenté figure 5.12.

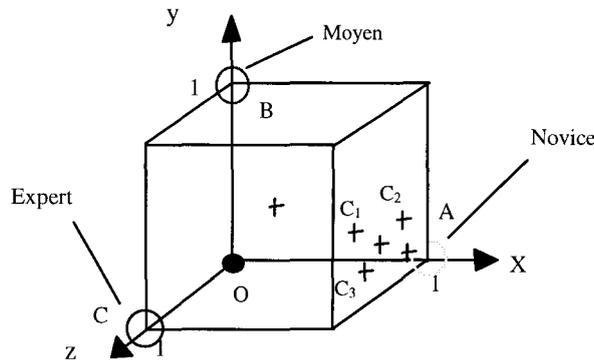


Figure 5.13 : Représentation de l'évolution de l'état de l'opérateur

Le cube a trois points remarquables :

- A : point symbolisant l'utilisateur novice {1,0,0}
- B : point symbolisant l'utilisateur moyen {0,1,0}
- C : point symbolisant l'utilisateur expert {0,0,1}

Nous pouvons alors agréger ces informations pour en déduire le triplet global {N_t,M_t,E_t} symbolisant l'opérateur à chaque instant.

Nous obtenons :

$$N_t = \frac{\sum_{i=1}^n m_i N_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad M_t = \frac{\sum_{i=1}^n m_i M_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad E_t = \frac{\sum_{i=1}^n m_i E_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Cette définition implique l'utilisation de coefficients de pondération m_i permettant ainsi de classer les critères selon leur importance pour l'évaluation de l'opérateur. Grâce à cette information, nous pouvons notifier l'évolution globale de l'opérateur aussi bien que les critères divergents. Par les méthodes de classification, nous pouvons grouper les différents points en sous-groupes et donc différencier les situations qui semblent anormales.

Exemple :

On considère que le système n'a que deux critères pour définir le niveau global de l'opérateur. Ainsi à l'instant t, nous avons les formes représentées en figure 5.14.

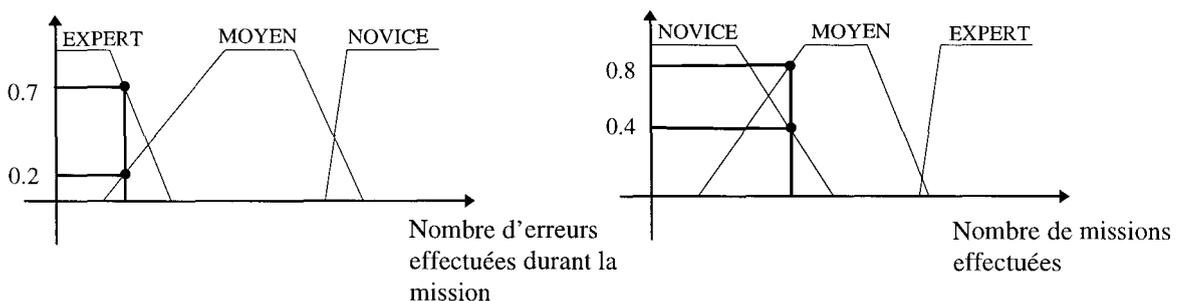


Figure 5.14 : Calcul du niveau global de l'opérateur

Nous obtenons alors deux points :

Cr1 de coordonnées (0 , 0.2 , 0.7)

Cr2 de coordonnées (0.4 , 0.8 , 0)

Si on considère de plus que ces deux critères sont aussi importants l'un que l'autre pour la détermination du niveau de l'opérateur, on peut y adjoindre des valeurs de pondération identiques. Nous obtenons alors :

$$N_t = \frac{0.4}{2}, \quad M_t = \frac{0.2+0.8}{2}, \quad E_t = \frac{0.7}{2}$$

On obtient alors un point de coordonnées (0.2 , 0.5 , 0.35) pour définir le niveau global de l'opérateur. On peut aussi en déduire qu'il se situe à un niveau « moyen » et qu'il tend actuellement vers le niveau « expert ». Mais ces constatations ne peuvent être validées que par l'étude des points antérieurs.

C'est d'ailleurs ce résultat qui sera utilisée par le système dans sa détermination du niveau de l'opérateur.

CONCLUSION DU CINQUIEME CHAPITRE

Nous avons vu au chapitre 3 qu'un système adaptatif doit posséder un modèle de l'opérateur le plus fiable possible pour pouvoir s'adapter au mieux. Nous avons donc choisi une modélisation floue de l'utilisateur pour modéliser son évolution progressive d'une classe de connaissance à une autre. L'intérêt, en plus de sa simplicité, est son faible besoin en temps de calcul. C'est un avantage crucial si le but est de faire du quasi temps réel.

Un autre intérêt de cette technique est que si l'on désire rajouter d'autres critères, cela ne fait que rajouter de nouvelles fonctions d'appartenance à intégrer dans les tableaux de commande floue.

Le problème de ces critères qui permettent de faire la différence entre un opérateur novice ou moyen par exemple reste crucial. Le choix doit être judicieux aussi bien dans le nombre, le type et les bornes des différentes classes et avoir été implémenté sur un banc d'essai avant d'être validé.

RÉFÉRENCES

Chapitre 5 : Adaptativité par rapport à l'Opérateur

- [BAL 87] **H. BALZERT**, « Objectives for the humanization of software - a new and extensive approach », *Human-Computer Interaction - INTERACT'87*, pp. 5-10.
- [BAR 86] **M.F. BARTHET**, « Conception d'applications conversationnelles adaptées à l'utilisateur », *Thèse de doctorat en informatique n°108*, Institut National Polytechnique de Toulouse, 21 Mars 1986.
- [BAS] **C. BASTIEN et C. COLAS**, « Modélisation de la tâche d'un opérateur », *Neurosciences et ergonomie cognitive*, pp. 329-339.
- [CAC 93] **P.C. CACCIABUE**, « A methodology of human factors analysis for systems engineering », *IEEE SMC*, Le Touquet, 1993, pp. 689-694.
- [CHA 95] **A.R. CHAPPELL and C.M. MITCHELL**, « Addressing the Trained Novice/Expert Performance Gap in Complex Dynamic Systems : A case-based intelligent tutoring system », *IEEE 0-7803-2559-1/95*, pp. 4557-4562.
- [DAN 86] **F. DANIELLOU**, « L'opérateur, La vanne, l'écran, l'ergonomie des salles de contrôle », *Collection outils et méthodes, Anact*, 440p, avril 1986.
- [FUK 99] **S. FUKUZUMI and T. YAMAZAKI**, « Study on Stress Management : relationship among body sway, accommodation and mental fatigue by VDT work », *HCI'99*, Munich (Germany), August 22-27, pp. 79-83.
- [GRE 87] **T. GREUTMANN and D. ACKERMAN**, « Individual differences in human-computer-interaction : how can we measure if the dialog grammar fits the user's needs ? », *INTERACT'87*, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 145-149.
- [OKA 99] **M. OKA and M. NAGATA**, « A graphical user interface shifting from novice to expert », *HCI'99*, Munich (Germany), August 22-27, pp. 341-345.
- [SIM] **P. SIMON, F. ROUSSEAU and J-C ANGUÉ**, « Quantitative Analysis of Mental Workload Influence on Eye Scanning Movements », pp 707-712.
- [SPE 84] **J.C. SPERANDIO**, « L'ergonomie du travail mental », *ed. Masson*, 130 pp, 1984.
-

[WAN 87] **J.C. WANNER**, " Facteur humain et sécurité ", *Séminaire : erreurs humaines et automatisation*, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, 19-20 mai 1987.

Chapitre 6

MISE EN ŒUVRE LOGICIELLE DU CONCEPT D'INTERFACE ADAPTATIVE : TELEMAQUE 2

6.1. Présentation

Nous allons présenter dans cette annexe le support informatique utilisé pour nos recherches. Il se nomme TELEMAQUE2 et a pour but d'être une interface homme-machine dite adaptative.

Cette annexe se décomposera d'après la hiérarchie des différents écrans de l'interface. Cette hiérarchie a la forme suivante :

- Ecran 1 :** Lorsque l'opérateur exécute la séquence de chargement du programme, cette fenêtre apparaît.
 - Ecran 2 :** L'utilisateur décide ensuite à ce niveau s'il est un nouvel utilisateur ou s'il a déjà été enregistré. S'il est nouveau, il passera par l'écran 3 avant de rejoindre l'écran 4.
 - Ecran 3 :** C'est le questionnaire préliminaire dans le cas d'une première connection.
 - Ecran 4 :** C'est la fenêtre d'identification. L'opérateur tape le login que lui a fourni l'administrateur du système.
 - Ecran 5 :** Il s'affiche alors les caractéristiques de l'utilisateur reconnu d'après le mot tapé dans l'écran 4.
 - Ecran 6 :** On décide ensuite du scénario qui sera exécuté.
 - Ecran 7 :** Sur cet écran apparaît le questionnaire que l'utilisateur doit remplir avant chaque lancement de mission.
 - Ecran 8 :** Ensuite vient la fenêtre de lancement de l'interface TELEMAQUE2.
 - Ecran 9 :** C'est l'interface de commande et de contrôle de TELEMAQUE2 qui va permettre l'exécution de la mission.
 - Ecran 10 :** C'est le tableau récapitulatif d'après mission. Il présente le niveau de réussite de la mission.
 - Ecran 11 :** C'est la dernière fenêtre de TELEMAQUE2. Elle consiste en un questionnaire que tout opérateur doit remplir après chaque mission effectuée.
-

Chacun de ces écrans va maintenant être décrit de façon plus complète. On précisera à chaque fois sa fonction ainsi que sa situation par rapport à la hiérarchie globale du système et enfin nous proposerons des évolutions possibles pour rendre l'interface encore plus conviviale et ergonomique.

6.2. Ecran de présentation de l'interface (Ecran 1)

La première étape que l'on doit accomplir pour exécuter TELEMAQUE2 consiste à taper la ligne de commande « t2 ».

Ensuite le programme se charge et apparaît alors cette fenêtre :

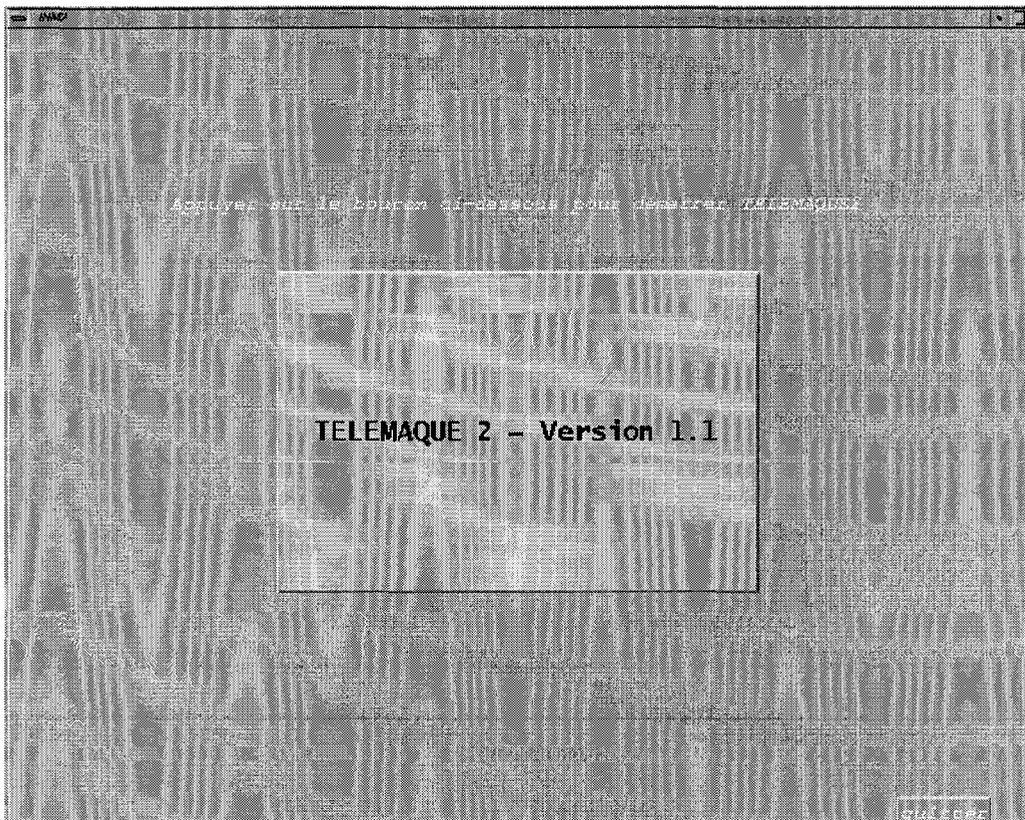


Figure 6.1 : Ecran de présentation de l'interface

Cet écran a deux fonctions :

- Il présente le logiciel qui vient d'être lancé.
- Il donne aussi la possibilité de poursuivre le chargement si l'utilisateur clique sur le bouton central « TELEMAQUE 2 - Version 1.1 ». L'opérateur peut aussi décider de quitter directement le programme, il doit alors appuyer sur le bouton « quitter ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si on appuie sur « TELEMAQUE 2 - Version 1.1 », alors le logiciel affichera l'écran 2.
- Si on appuie sur « quitter », alors le programme est arrêté.

Les évolutions possibles sont :

- Présence d'une photo d'un vrai site de téléopération en fond d'écran.

- Nomination des différentes entités en relation avec ce logiciel.

6.3. Ecran de détermination du type d'opérateur (Ecran2)

Lorsque l'opérateur a appuyé sur le bouton « TELEMAQUE 2 - Version 1.1 », apparaît alors à l'écran la fenêtre suivante :



Figure 6.2 : Ecran de détermination du type d'opérateur

Cet écran a deux fonctions :

- Il donne la possibilité à l'utilisateur du système de déterminer son appartenance à l'une de ces deux classes : « nouveau » ou « ancien ». En effet, le nouvel utilisateur doit tout d'abord remplir un questionnaire supplémentaire..
- L'opérateur peut aussi décider de quitter directement le programme, il doit alors appuyer sur le bouton « quitter ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si on appuie sur « NOUVEL UTILISATEUR », alors le logiciel affichera l'écran 3.
- Si on appuie sur « UTILISATEUR DEJA ENREGISTRE », alors le système affichera l'écran 4.
- Si on appuie sur « quitter », alors le programme est arrêté.

Les évolutions envisageables sont :

- Création d'un troisième type appelé « administrateur système ». Il permettra d'avoir accès à la création de compte,... Ce type sera évidemment protégé par un mot de passe.

6.4. Ecran du questionnaire préliminaire (Ecran 3)

Lorsque l'opérateur n'a jamais travaillé sur TELEMAQUE2, il a sélectionné « NOUVEL UTILISATEUR » dans l'écran précédent. Apparaît alors cette fenêtre :

Figure 6.3 : Ecran du questionnaire préliminaire

Cet écran a deux fonctions :

- Il donne la possibilité au nouvel utilisateur du système de remplir ce questionnaire qui a pour but de faciliter la modélisation de l'opérateur. Ces informations seront sauvegardées dans un fichier nominatif dans la base de données. Les questions reprennent exactement ce qui a été défini dans l'annexe 1. Lorsque l'utilisateur a terminé, il doit valider ce qui a été fait en cliquant sur « Valider ».
- L'opérateur peut aussi décider de revenir à l'écran précédent, il doit alors appuyer sur le bouton « Annuler ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si on appuie sur « Valider », alors le logiciel affichera l'écran 4.
- Si on appuie sur « Annuler », alors le système affichera l'écran 2.

Nous avons comme évolutions possibles :

- Création d'un écran supplémentaire qui préciserait les informations venant d'être rentrées en machine en cas de mauvaises manipulations.
- Donner la possibilité de revenir à cet écran par la suite pour modifier certaines réponses comme le problème de vision (Questions 6 et 7) par exemple.

La figure ci-dessous vous montre la fenêtre avant validation :

Figure 6.4 : Ecran du questionnaire préliminaire après modification

L'ensemble de ces informations va donc se retrouver à l'intérieur d'un fichier qui aura pour cette exemple la forme suivante :

Compte.c
moyenne
0.46
0.87
0.26
masculin
oui
myope
28
0.28
0.27
droitier

Cette forme permet de retrouver rapidement l'information ainsi que de faciliter la relecture par le système. Actuellement, les données retournées par les échelles sont directement traitées sous la forme d'une valeur réelle avec deux chiffres significatifs.

6.5. Ecran de l'identification (Ecran 4)

Si l'opérateur a validé les informations du questionnaire préliminaire ou si c'est un utilisateur déjà enregistré, alors apparaît cette fenêtre :

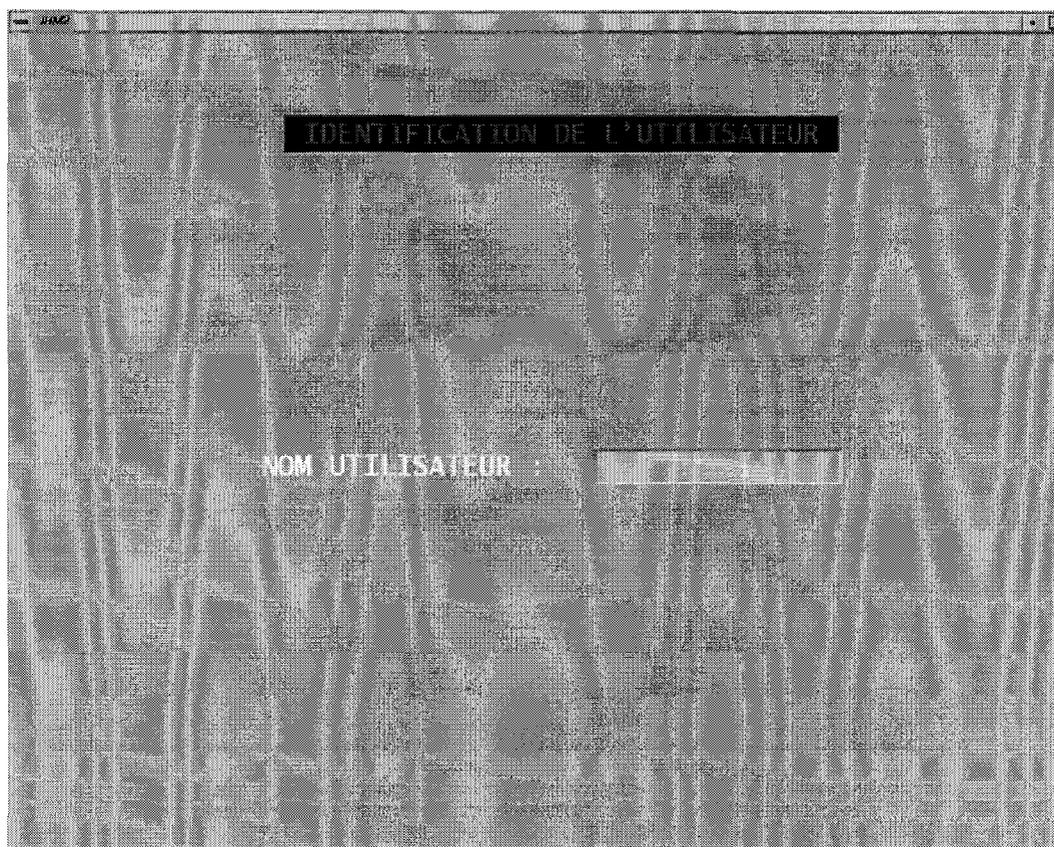


Figure 6.5 : Ecran d'identification de l'opérateur

Cet écran a une fonction :

- Il permet à l'opérateur de se faire reconnaître par le système. En effet, il doit taper le nom de son compte donné par l'administrateur du système. Il n'y a pas d'autres moyens pour quitter cette fenêtre. Dès que le nom est rentré, on vérifie qu'il se trouve bien dans la liste qui se trouve dans un fichier confidentiel et protégé. Alors il y a deux possibilités : il est reconnu et on passe alors à l'écran suivant ou alors ce nom n'existe pas et l'opérateur doit retaper un nouveau nom.

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si le nom est reconnu, alors le logiciel affichera l'écran 5.

Evolutions possibles :

- Possibilité d'augmenter la sécurité en rajoutant un accès par mot de passe. Ainsi il faudrait avoir un compte et un mot de passe pour se connecter au système (type Unix ou Windows).
- On peut décider qu'au bout de trois essais infructueux, TELEMAQUE2 soit automatiquement arrêté. La conséquence est que la présence de l'administrateur sera indispensable pour la prochaine connection.

Ainsi si nous rentrons un compte existant :

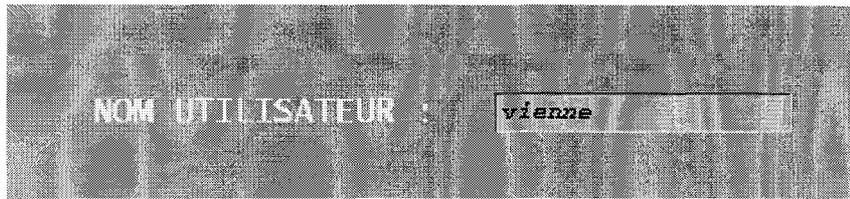


Figure 6.6 : Zone de saisie du compte utilisateur

Il faut de plus signaler que le curseur n'apparaît que si le pointeur de la souris se trouve au-dessus de la zone de saisie, cela pour éviter de rentrer des comptes inconsciemment.

Enfin on peut grâce à cette technique avoir la possibilité d'avoir une liste très importante d'utilisateurs vu le peu d'espace mémoire nécessaire à la création d'une fiche opérateur.

6.6. Ecran de présentation des caractéristiques de l'utilisateur (Ecran 5)

Si le compte de l'opérateur a été validé, apparaît au niveau de l'interface cette fenêtre :

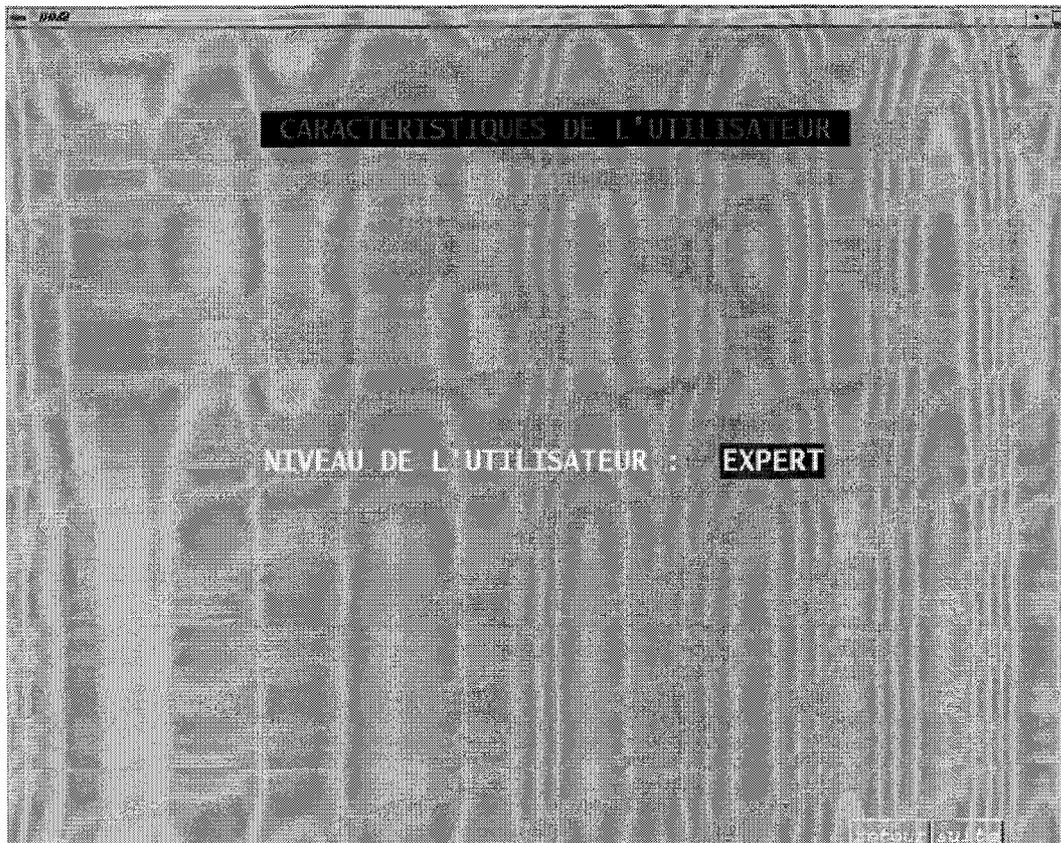


Figure 6.7 : Ecran de présentation des caractéristiques de l'utilisateur

Cet écran a deux fonctions :

- Il signale tout d'abord à l'utilisateur les informations utiles le concernant et qui le caractérisent. Dans notre cas, il présente le niveau actuel de l'opérateur.

- L'opérateur peut alors poursuivre dans le programme en appuyant sur le bouton poussoir « suite » ou revenir à l'écran précédent par l'appui sur la touche « retour ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si l'opérateur appuie sur « suite », alors le logiciel affichera l'écran 6.
- Si l'opérateur appuie sur « retour », alors le logiciel affichera l'écran 4.

En option :

- Le nombre des informations affichées peut s'accroître par l'adjonction de la date de sa dernière mission ainsi que du nombre de missions effectués.

6.7. Ecran du choix des Scénarii (Ecran 6)

Lorsque l'opérateur a été identifié et que les informations le caractérisant ont été affichés, l'opérateur valide l'écran précédent et cette fenêtre apparaît :

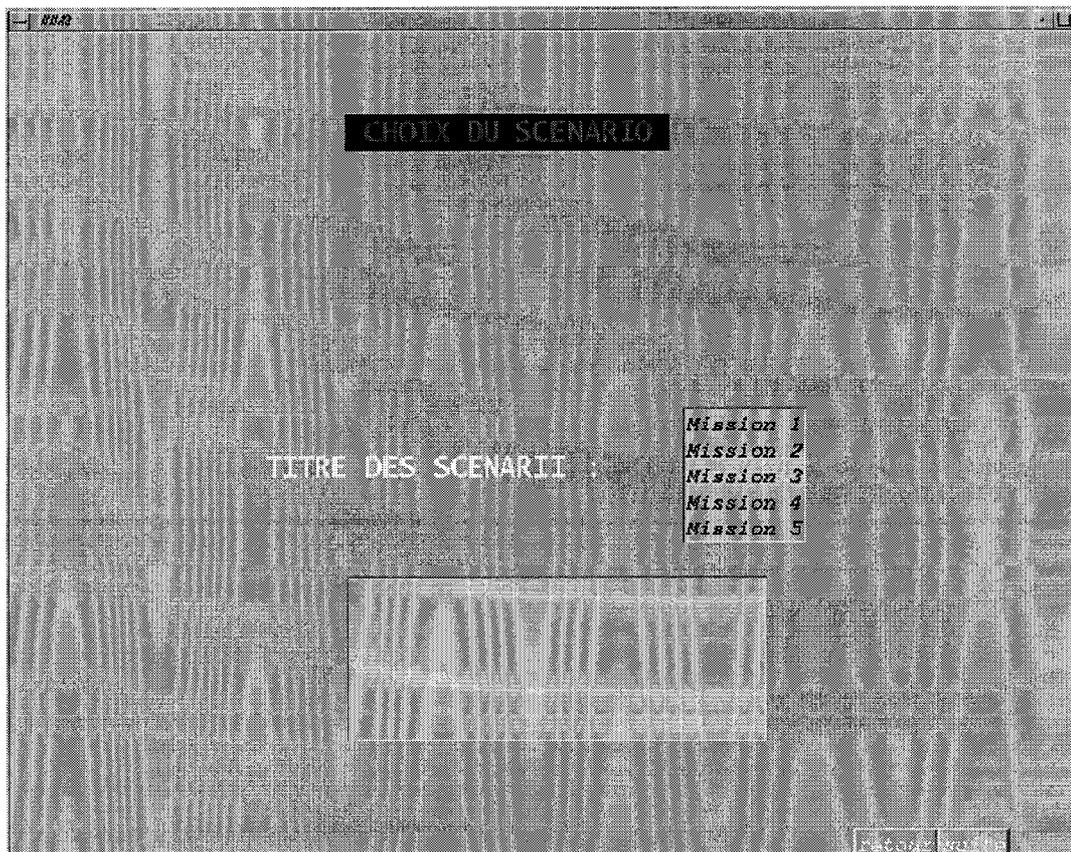


Figure 6.8 : Ecran du choix des scénarii

Cet écran a deux fonctions :

- Tout d'abord, l'utilisateur a la possibilité de choisir entre cinq scénarios (actuellement, seule la mission 1 est disponible). Lorsqu'il sélectionne un scénario, apparaissent dans la zone inférieure les caractéristiques de cette mission. Cela permet de faciliter le choix dans le cas d'une stratégie d'apprentissage. Dans l'image ci-dessous, on peut en voir un exemple :

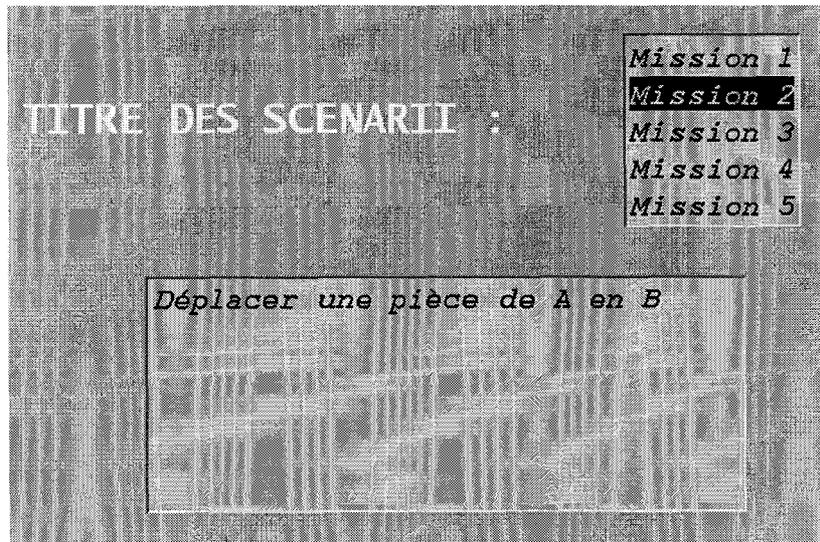


Figure 6.9 : Sélection d'un scénario et information le concernant

- L'opérateur peut alors poursuivre dans le programme en appuyant sur le bouton poussoir « suite » et ainsi valider le choix du scénario ou revenir à l'écran précédent par l'appui sur la touche « retour ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si l'opérateur appuie sur « suite », alors le logiciel affichera l'écran 7.
- Si l'opérateur appuie sur « retour », alors le logiciel affichera l'écran 5.

Evolutions possibles :

- Le nombre de missions peut augmenter pour rendre plus intéressant ce logiciel. Ces missions pourraient être classées en plusieurs domaines ou en critères de réussite (temps, précision ou sécurité)
- Définir moins sommairement les missions.

Actuellement seul la mission 1 fonctionne. Elle est constituée de 5 étapes :

- Ouvrir la pince.
- Prendre une pièce A qui se trouve à un point A.
- Déplacer l'objet vers un point B.
- Ouvrir la pince
- Revenir en position initiale

Pendant cette mission, on vérifie le nombre d'accès au service d'aide ainsi que le temps mis pour accomplir cette mission et le nombre d'erreurs occasionnées.

6.8. Ecran Questionnaire avant chaque mission (Ecran 7)

Lorsque l'opérateur a sélectionné la mission qu'il désire réaliser ou superviser, apparaît cette fenêtre :

The screenshot shows a window titled "Questionnaire" with the following content:

- Q1** : Période d'utilisation du système suffisante. Progress bar. Options: NON, OUI.
- Q2** : Confiance dans le système. Progress bar. Options: TRÈS FAIBLE, EXCELLENTE.
- Q3** : Attitude face à une situation inconnue ou dangereuse. Progress bar. Options: CALME MAXIMAL, SECURITAIRE.
- Q4** : Votre tendance à la panique. Progress bar. Options: TRÈS FAIBLE, TRÈS FORTE.
- Q5** : Vos connaissances dans le domaine de la mission. Progress bar. Options: NON, OUI.
- Q6** : Niveau de confort du site maître. Progress bar. Options: TRÈS FAIBLE, EXCELLENTE.
- Q7** : Etes-vous performant. Progress bar. Options: NON, OUI.
- Q8** : Votre état émotionnel. Progress bar. Options: TRÈS MAUVAIS, TRÈS BON.
- Q9** : Comment vous sentez-vous au point de vue physique. Progress bar. Options: TRÈS FAIBLE, EXCELLENTE.
- Q9** : Comment vous sentez-vous au point de vue intellectuel. Progress bar. Options: TRÈS FAIBLE, EXCELLENTE.
- Q10** : Votre niveau sur T2. Radio buttons: NOVICE, MOYEN, EXPERT.

Buttons: retour, suite

Figure 6.10 : Ecran du questionnaire d'avant mission

Cet écran a deux fonctions :

- Tout utilisateur avant de débiter une mission doit remplir ce questionnaire pour déterminer son état actuel que ce soit physique, mental ou émotionnel. Il reprend les questions présentées dans l'annexe 1.
- L'opérateur peut alors poursuivre dans le programme en appuyant sur le bouton poussoir « suite » et ainsi valider les choix pris par l'opérateur ou revenir à l'écran précédent par l'appui sur la touche « retour ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si l'opérateur appuie sur « suite », alors le logiciel affichera l'écran 8.
- Si l'opérateur appuie sur « retour », alors le logiciel affichera l'écran 6.

Nous avons comme évolutions possibles :

- Création d'un écran supplémentaire à la suite qui préciserait les informations venant d'être rentrées en cas de mauvaises manipulations.

La figure ci-dessous montre la fenêtre avant validation :

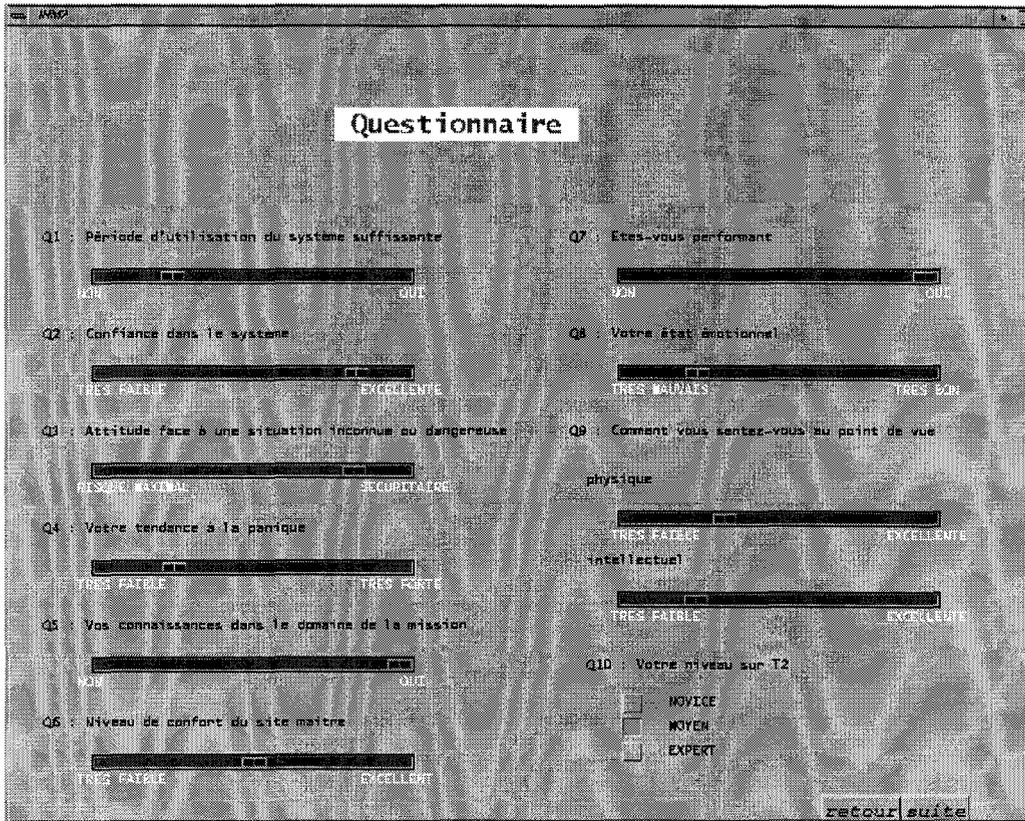


Figure 6.11 : Ecran du questionnaire d'avant mission après modification

De la même façon que pour le questionnaire préliminaire, les informations sont sauvegardées dans un fichier nominatif.

6.9. Ecran de lancement de l'interface TELEMAQUE2 (Ecran 8)

Lorsque l'opérateur a validé les réponses au questionnaire, cette nouvelle fenêtre apparaît :



Figure 6.12 : Ecran de lancement de l'application

Cet écran a deux fonctions :

- Cet écran sert de transition pour accéder à l'écran de l'interface de commande qui est le point central de TELEMAQUE2. En effet, pour passer à l'écran suivant, il suffit de cliquer sur le bouton poussoir « TELEMAQUE2 ».
- L'opérateur peut aussi quitter l'application avant de lancer la mission en appuyant sur le bouton « quitter ».

Au niveau hiérarchique, le séquençage est le suivant :

- Si l'opérateur appuie sur « TELEMAQUE2 », alors le logiciel affichera l'écran 9.
- Si l'opérateur appuie sur « quitter », alors le logiciel sera arrêté.

Evolutions possibles :

- Mise en fond d'écran d'un dessin représentant le type de mission choisi.

6.10. Ecran principal de TELEMAQUE2 (Ecran 9)

Lorsque l'opérateur a sélectionné la mission et qu'il a appuyé sur le bouton de lancement, apparaît cette fenêtre :

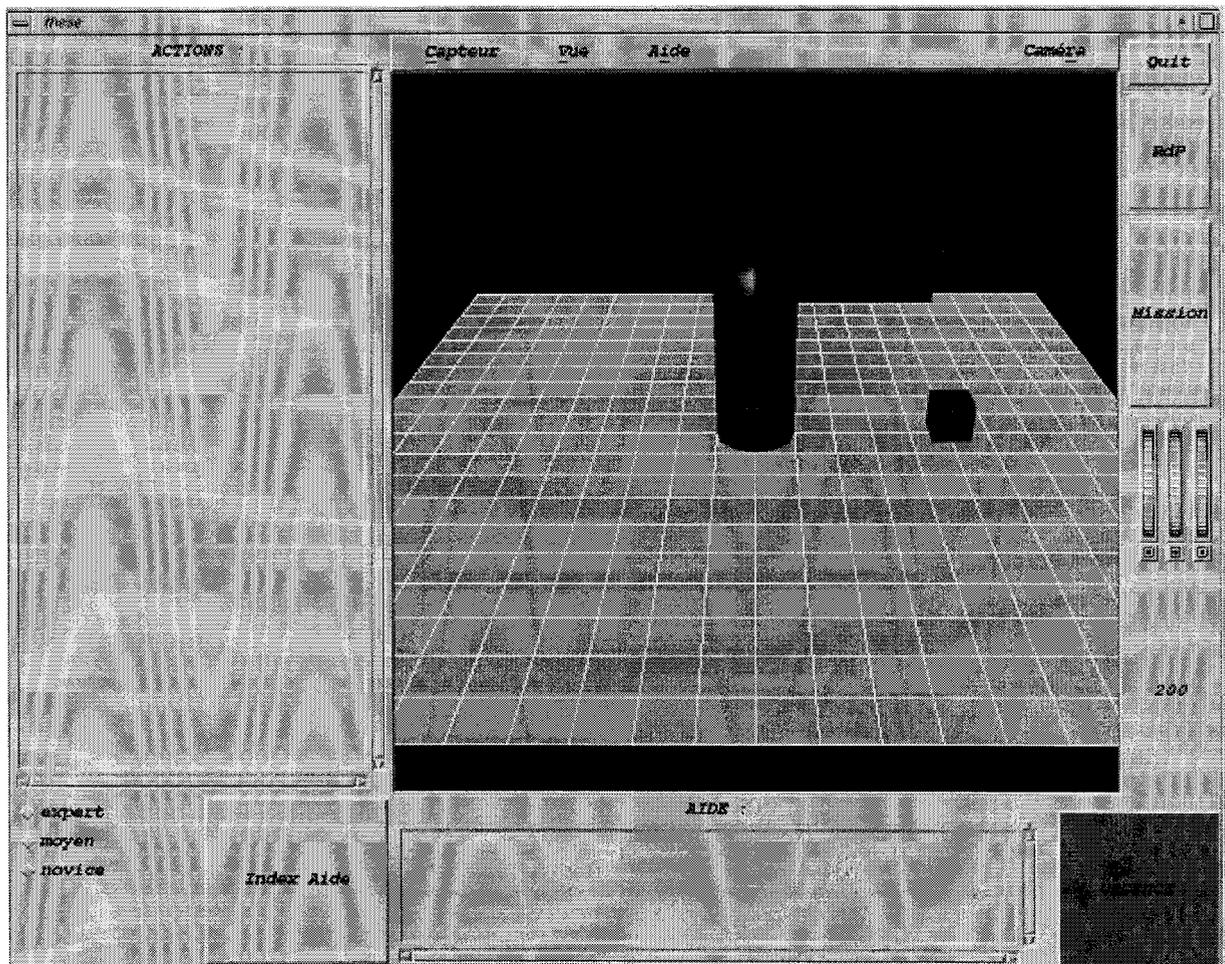


Figure 6.13 : Ecran principal de TELEMAQUE2

Cet écran a deux fonctions :

- Il permet l'accomplissement de la mission mais également d'évaluer l'opérateur et d'appliquer les concepts d'adaptativité. C'est le noyau du système. Nous présenterons ensuite les fonctionnalités les plus importantes du système.
- Lorsque l'opérateur décide de quitter cette application en dehors de la fin de la mission, il doit cliquer sur le bouton « Quit ». Si la mission est terminée une fenêtre apparaît signalant que la mission est finie et que l'utilisateur peut quitter l'application pour passer à l'écran suivant. L'image ci-dessous en donne un exemple :

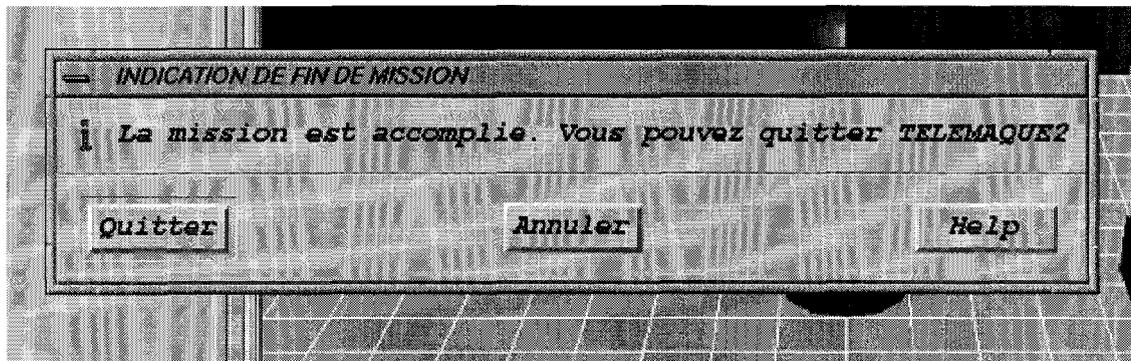


Figure 6.14 : Indication de fin de mission

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si l'opérateur appuie sur le bouton « quit » de la fenêtre l'écran 9, alors le logiciel affichera l'écran 10.
- Si l'opérateur appuie sur « Quitter » de la fenêtre indicatif de fin de mission, alors le logiciel affichera l'écran 10.

Nous allons maintenant présenter chacun des constituants de l'écran 9 en partant du coin supérieur gauche au coin inférieur droit :

6.10.1. Actions

Le but de cette interface est de générer des informations pertinentes. Ces informations doivent être en rapport avec la tâche en cours et doit de plus correspondre à un affichage adapté à l'opérateur. On peut d'ailleurs représenter ces informations sous trois formats : un pour l'opérateur novice où tout est développé et où le texte ne comprend pas d'abréviations, un pour l'opérateur moyen où l'explication est la minimale mais écrit encore en français littéraire avec des relations avec des abréviations, et enfin un pour l'expert où les informations principales seules sont affichées et où les abréviations sont souvent utilisées.

Prenons l'exemple ci-dessous, nous nous trouvons dans le cas d'un opérateur novice. Ainsi le bras du télérobot accomplit une rotation selon l'axe 1. Comme l'opérateur est défini comme novice, apparaît dans la fenêtre « Actions » l'information : « ceci est une rotation gauche de l'axe 1 ». Si l'opérateur avait été moyen, l'affichage aurait donné « rotation gauche axe 1 (rg1) ». Et si l'opérateur avait été expert, soit rien ne serait affiché (action simple et pas d'ambiguïté possible) soit il y aurait eu « rg1 ».

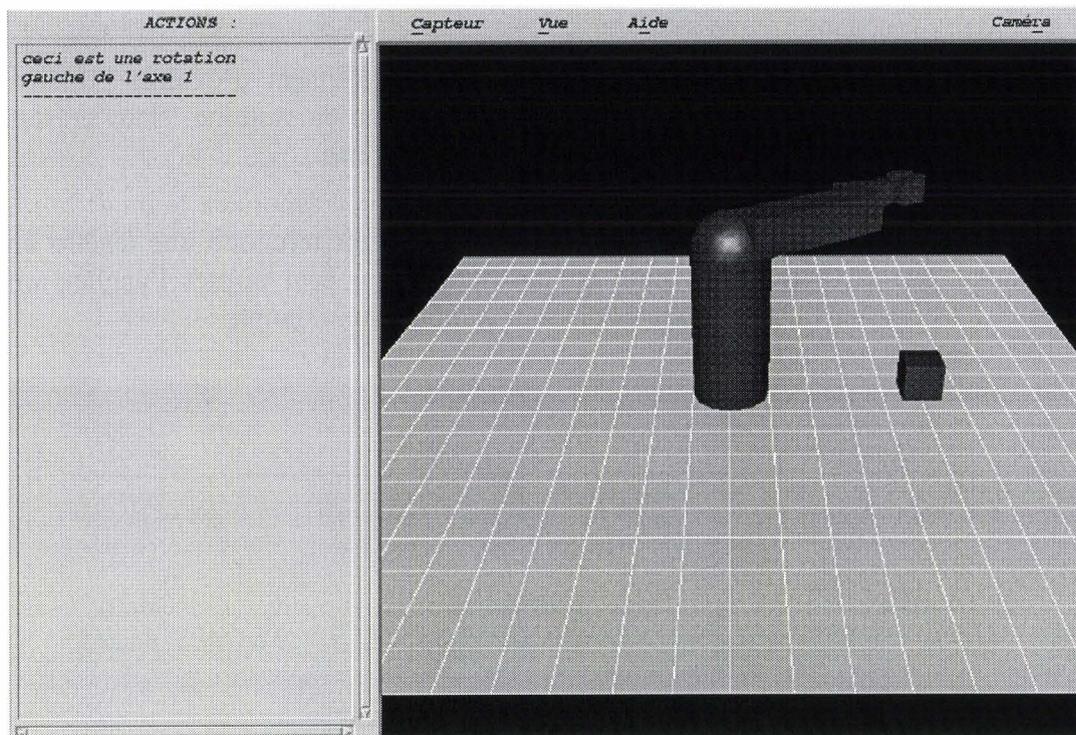


Figure 6.15 : indication sur l'action entrain d'être accomplie

Cette zone texte possède un ascenseur permettant de vérifier les anciens messages jusqu'au début de la mission. L'avantage correspond à un service d'aide appelé « historique ».

6.10.2. Menu

Le menu de cette interface de contrôle comprend quatre sous-menus. L'image ci-dessous en donne l'aperçu :

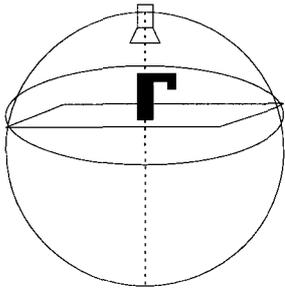


Figure 6.16 : Bandeau de menu

- **Capteur** : c'est le premier sous-menu. Dans la majorité des cas, les systèmes industriels ont un panel de capteurs hétérogènes. Mais au cours de la mission, l'opérateur pourrait désirer observer les valeurs d'un capteur particulier, même si ses données ne rentrent pas directement en ligne de compte dans la réalisation de la tâche actuelle. Grâce à ce menu, c'est devenu possible. Le but sur un site réel est de permettre d'accéder aux valeurs de tous ces capteurs à tout instant et dont les valeurs seront retransmises à l'opérateur via la fenêtre « Actions ». Les éléments de ce menu sont donc « capteur 1 », « capteur 2 »,.... , « capteur n ».
- **Vue** : c'est le second sous-menu. En fait, une scène peut être représentée sous trois visions différentes. Il y a d'abord "l'effecteur" (la caméra est sur le bras du robot), on obtient alors une représentation égocentrique. Cela est surtout utile dans les tâches dextres où la précision est de mise. Puis on peut employer le point de vue "plan général". Lui, par contre, nous donne une représentation allocentrique de l'environnement, très utile dans le cas de mouvements larges du robot, un déplacement par exemple. Enfin, nous pouvons choisir de

centrer l'image sur un objet particulier, s'il est par exemple l'élément-clef de la tâche à réaliser. Les éléments de ce menu sont donc « effecteur », « plan général », « objet ». Le choix de l'objet dépendra de la mission sélectionnée. Par défaut au lancement de cet écran, nous sommes en mode plan général.

- **Aide** : c'est le troisième sous-menu. En fait, l'opérateur peut vouloir avoir accès à certaines données concernant le mode de navigation au niveau de cet écran. Au moyen de ce menu cela est alors possible. Les informations demandées sont alors envoyées au niveau de la fenêtre d'aide en bas de cet écran. Les fonctions sont toutefois assez succinctes. Les éléments de ce menu sont donc « version », « mission », « raccourcis ». « Version » spécifie la version du logiciel, son créateur, la date.... « Mission » apporte les informations sur la mission. Cela apporte un plus pour vérifier si la mission se déroule bien. Enfin « Raccourcis » donne la liste des raccourcis utilisés en mode expert.
- **Caméra** : c'est le quatrième et dernier sous-menu. Son but est de donner la possibilité de passer d'un mode visualisation polaire en mode caméra virtuelle.



En mode polaire, on considère que la caméra se trouve sur une sphère dont le rayon peut aussi se modifier. Mais cette caméra pointe toujours vers le centre de la sphère qui se trouve être la base du télérobot. Par défaut, au lancement, c'est ce mode qui est choisi.

Le mode caméra virtuelle permet justement d'éviter de se laisser cloisonner dans une zone restreinte de l'univers virtuel.

6.10.3. Visualisation du site esclave

C'est le centre de cet écran et c'est par son intermédiaire que l'opérateur vérifie si l'action se déroule bien ou si ses actions sont bien réalisées. Il a donc cette forme :

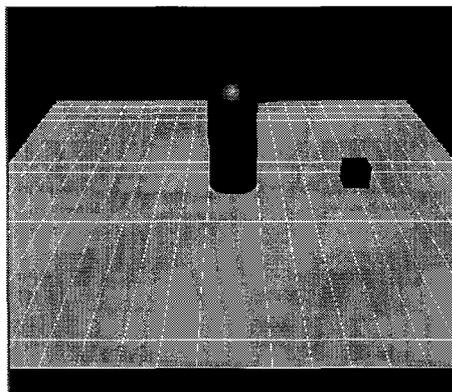


Figure 6.17 : Visualisation du site esclave

Via la souris, nous pouvons déplacer le point de vue de la caméra pour optimiser son placement et ainsi avoir une bonne vision de la tâche entrain d'être accomplie comme nous le montre l'image ci-dessous :

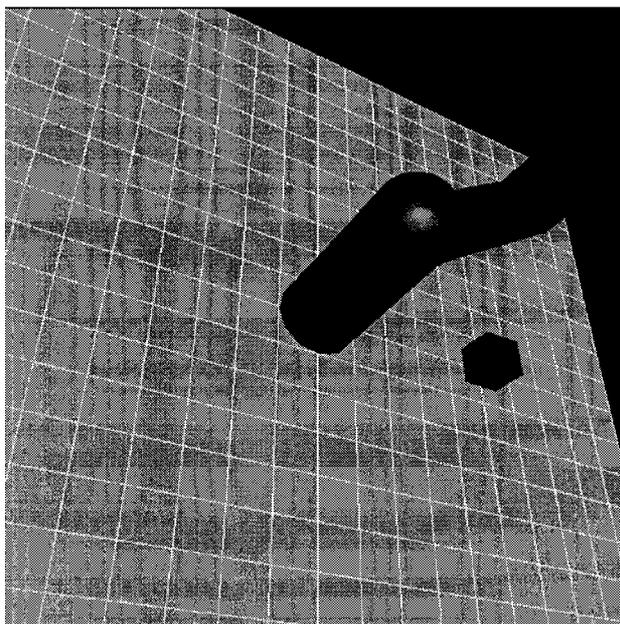


Figure 6.18 : Modification du point de vue du site esclave

Un autre moyen disponible pour modifier le point de vue est l'utilisation des trois « molettes ».

6.10.4.Quit

Ce bouton permet de quitter l'application lorsque l'opérateur le désire même si la mission n'est pas terminée. Dans ce cas, la mission est considérée comme annulée. Le système affiche alors l'écran 10.

6.10.5.RdP

Par son intermédiaire, l'opérateur peut avoir accès à la représentation de la mission sous la forme d'un réseau de Pétri. Cela facilite le positionnement de la tâche actuelle par rapport au reste de la mission.

6.10.6.Mission

C'est en cliquant dessus que la mission débute. Il y a donc à ce moment-là sauvegarde de l'heure. Lorsque la mission sera terminée, nous connaissons la durée de la mission en comparant l'heure de fin avec celle venant d'être enregistrée.

6.10.7.Le feux tricolore

Cela représente la bonne marche de la mission. Ainsi si son exécution diffère de son séquençement théorique, alors cet agent modifiera sa couleur, et l'opérateur en sera averti rapidement. Ce qui nous donne pour le code de couleur :

- **Vert** : pas de problème. tout se déroule comme prévu.
- **Jaune** : une anomalie a été détectée. L'utilisateur est prié de redoubler d'attention, voire même arrêter le système si possible pour pouvoir en déduire la raison de ce désordre.
- **Rouge** : Arrêt d'urgence. Le système doit être immédiatement arrêté sous peine d'accidents et de dommages graves. De plus, l'apparition de cette couleur se fera de façon conjointe avec l'émission de Bips sonores.

A ces couleurs est de plus couplé un nombre affiché. Il correspond au code de couleur mais l'évolution peut être plus visible que trois couleurs qui se succèdent de façon discontinue.

6.10.8.L'Arrêt d'Urgence

Dès que l'opérateur pense obligatoire l'arrêt direct de la mission pour des raisons de sécurité ou de bonne marche de la mission, il peut appuyer sur ce bouton. A ce moment, la mission s'arrête. Si la mission était en mode automatique, il passe alors en mode manuel. Dans tous les cas, ce bouton change de forme pour prendre la forme suivante :

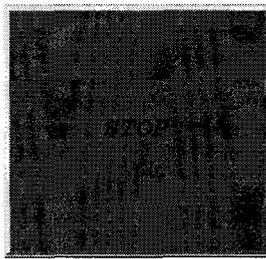


Figure 6.19 : Bouton d'arrêt d'urgence

Il reprendra sa forme initiale lorsque la mission redémarrera en appuyant sur le bouton « Mission ».

6.10.9.Changement manuel de niveau

Le niveau du système est défini automatiquement et le changement ne se fait qu'entre deux missions pour ne pas décontenancer l'opérateur par un changement inattendu des paramètres. Mais l'utilisateur peut décider de lui-même de modifier son niveau. Il faut pour cela qu'il sélectionne un type parmi les trois grâce aux boutons ci-dessous :



Figure 6.20 : Ecran de choix manuel du niveau de l'opérateur

La seule limitation vient du fait qu'il ne peut choisir qu'un niveau inférieur ou égal au sien (celui calculé par le système). Ainsi, un opérateur novice ne pourra pas décider de changer de

niveau. Un opérateur expérimenté aura lui la possibilité de choisir parmi tous les niveaux disponibles.

Ce changement de niveau est important car il modifie tout d'abord les informations affichées et de plus permet ou empêche l'utilisation de certaines commandes de l'interface. Par exemple, la touche RdP n'est accessible que pour les opérateurs moyens et experts. Le résultat est que pour un opérateur novice, Rdp aura cette forme :

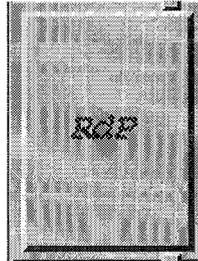


Figure 6.21 : Bouton d'appel à la visualisation du Réseau de Petri

Cette teinte grisée signale que la fonction est inaccessible à ce niveau. Si l'utilisateur décidait tout de même de l'utiliser, le bouton ne s'enclencherait pas. Il est réellement inaccessible.

6.10.10.Aide

Ce module prend une place de choix dans TELEMAQUE 2. En effet, elle doit permettre à l'utilisateur de s'adapter d'une part à l'interface elle-même, d'autre part à la mission et enfin aussi au système industriel. Le module d'aide de TELEMAQUE2 se décompose en deux parties. Nous avons tout d'abord l'« Index ». Au lancement de cet écran, il prend la forme suivante :

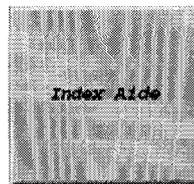


Figure 6.22 : Bouton de l'index de l'aide

Mais si l'opérateur décide de cliquer sur ce bouton, alors son affichage se transformera comme nous pouvons le voir sur l'image ci-dessous :

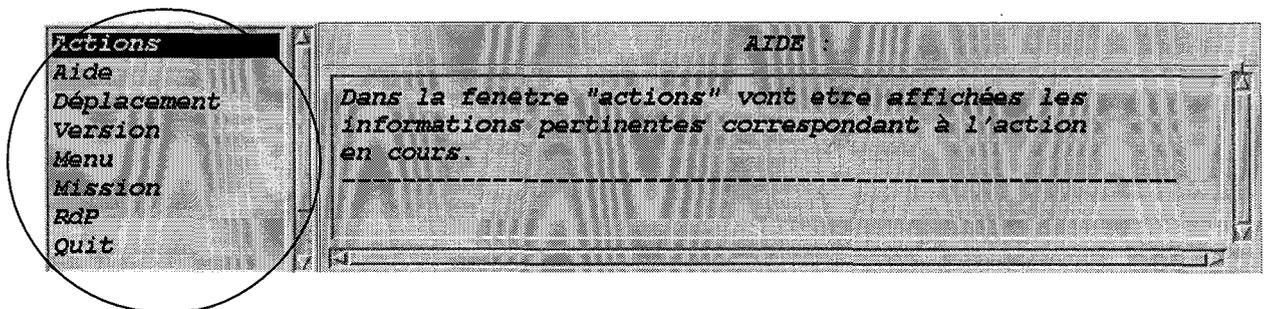


Figure 6.23 : Fenêtre de la fonction index de l'aide

Cette index permet d'accéder rapidement à des mots-clefs comme déplacement, mission ou menu. L'opérateur n'a plus qu'à en sélectionner un et les explication sont alors affichées sur la fenêtre sur sa droite comme le montre l'exemple.

La deuxième partie se trouve être justement cette fenêtre où sont affichées toutes les informations susceptibles d'aider l'opérateur. Nous trouvons ainsi surtout l'aide navigationnelle provenant de l'index mais aussi de l'aide du bandeau du menu.

L'ensemble de ces dix fonctionnalités de cet écran permet de rendre l'interface la plus adaptative possible. Dans l'exemple suivant, vous pouvez voir l'interface en mode automatique en train d'exécuter la mission 1. Le bras réalise une rotation gauche de l'axe 1. La mission se passe actuellement sans difficultés.

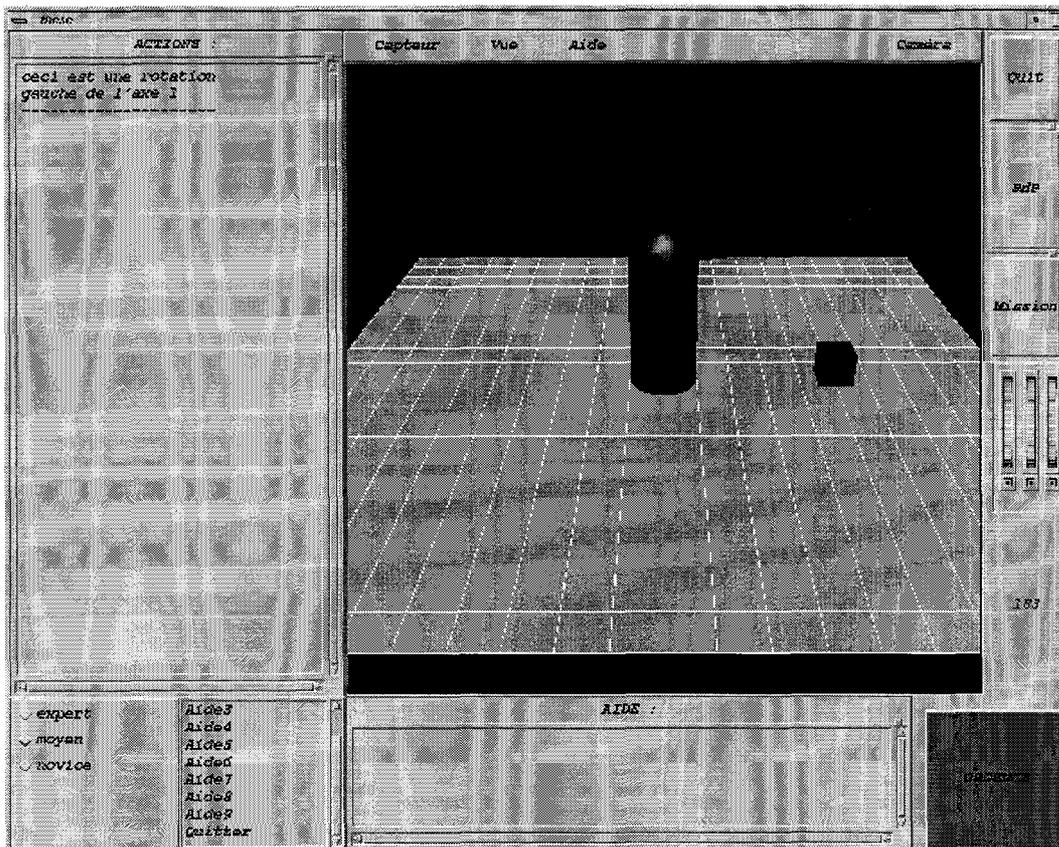


Figure 6.24 : Ecran de travail en activité

Les améliorations susceptibles d'être rajoutées sont :

- mise en place d'une pendule permettant de vérifier l'évolution de la durée de la mission.
- mise en place d'un compteur permettant de vérifier le nombre d'erreurs déjà réalisées en cours de mission.
- décomposition de l'écran présentant le site esclave en plusieurs images plus petites montrant plusieurs points de vue en même temps (comme pour les logiciels de création 3D).

6.11. Ecran de résultat (Ecran 10)

Lorsque l'opérateur a terminé sa mission, apparaît alors la fenêtre le priant de quitter l'écran 9. Après avoir cliqué sur « quitter », apparaît cette fenêtre :

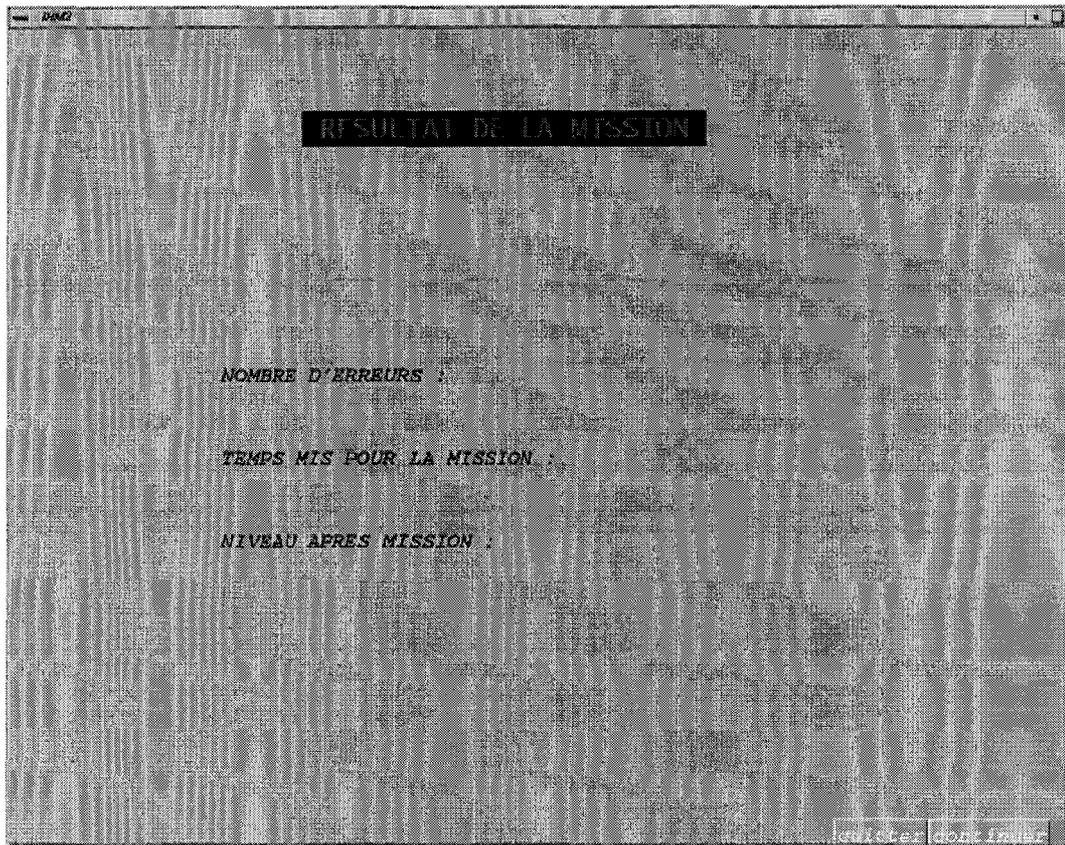


Figure 6.25 : Ecran de résultat

Cet écran a deux fonctions :

- Cet écran a pour but de présenter à l'opérateur les résultats de la mission qu'il vient d'effectuer. Il peut ainsi découvrir le nombre d'erreurs qu'il a occasionnées, le temps mis pour la mission et surtout voir s'il a évolué dans son niveau d'expérience.
- L'opérateur peut aussi soit quitter l'application sans passer par le dernier écran en appuyant sur le bouton « quitter » ou soit poursuivre vers le questionnaire final en cliquant sur « continuer ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si l'opérateur appuie sur « continuer », alors le logiciel affichera l'écran 11.
- Si l'opérateur appuie sur « quitter », alors le logiciel sera arrêté.

Nous avons comme évolutions possibles :

- Décomposition du nombre d'erreurs selon leurs types.
- Présentation de l'évolution de l'opérateur selon un graphique.
- Présentation du nombre d'heures passées sur TELEMAQUE 2.

6.12. Ecran du questionnaire final (Ecran 11)

Lorsque l'opérateur décide de remplir le questionnaire final, il a dû appuyer sur « continuer » au niveau de l'écran précédent. Apparaît alors cette fenêtre :

Figure 6.26 : Ecran du questionnaire final

Cet écran a deux fonctions :

- Ce questionnaire est lui optionnel. Il sert uniquement à pouvoir comparer a posteriori la bonne ou mauvaise réussite d'une mission avec l'état physique, mental ou émotionnel de l'opérateur. On peut aussi comparer ses réponses avant et après mission. Enfin on peut se rendre compte que certaines missions peuvent ne pas être adaptées au système. l'ensemble de ces questions sont identiques à celles définies dans l'annexe 1.
- L'opérateur peut aussi soit quitter l'application en appuyant sur le bouton « Quitter » ou soit retourner à l'écran précédant en cliquant sur « Retour ».

Au niveau hiérarchique, nous obtenons :

- Si l'opérateur appuie sur « Retour », alors le logiciel affichera l'écran 10.
- Si l'opérateur appuie sur « Quitter », alors le logiciel sera arrêté.

Nous avons comme évolutions possibles :

- Rajout d'un écran de fin pour signaler l'arrêt imminent du programme.

L'image ci-dessous présente un exemple de questionnaire final.

Figure 6.27 : Ecran du questionnaire final après modification

6.13. Méthode d'évaluation de l'interface

Ce paragraphe a pour but de présenter la méthode d'évaluation que l'on pourrait appliquer à notre interface.

- 1^{er} étape : demander aux futurs utilisateurs ce qu'ils pensent de l'interface écran par écran sans lancer la mission (textes, disposition des éléments, ...)
- 2^{ème} étape : après avoir modifié en conséquence les différents écrans, il faut ensuite demander à ces mêmes utilisateurs d'exécuter une mission. Pour déterminer leur niveau ils doivent répondre à un questionnaire préliminaire. On vérifie le résultat de la mission selon les évolutions possibles. Pour accélérer le processus, l'opérateur passera plus rapidement d'une classe à une autre. Cela permettra de présenter de façon complète l'évolution de l'affichage.
- 3^{ème} étape : on vérifie quels sont les critères pertinents dans la modélisation de l'opérateur. On pourra ainsi valider les critères sélectionnés ou alors permettre d'en ajouter de nouveaux mieux adaptés.
- 4^{ème} étape : on fait l'opération sur une durée plus importante comprenant plusieurs missions. On vérifie l'évolution du nombre d'erreurs et d'appels aux fonctions d'aide de l'interface pour chaque opérateur et on mémorise son évolution.

- 5^{ème} étape : On compare ce résultat avec les résultats d'autres opérateurs travaillant sur l'interface mais en enlevant la fonctionnalité « adaptative » de l'interface.

Cette séquence d'évaluation pourrait permettre de quantifier le gain apporté par cette technique d'adaptativité.

CONCLUSION DU SIXIEME CHAPITRE

Ce chapitre a présenté les différents écrans et constituants de TELEMAQUE2. Il avait pour but de signaler ce qui avait été effectué et ce qui pouvait être réalisé par la suite. En effet, une interface doit pouvoir évoluer et s'améliorer constamment.

Nous avons aussi présenté une séquence d'actions à accomplir pour aborder l'évaluation de l'interface et son apport par rapport à une interface ne possédant pas la fonctionnalité d'adaptativité.

Conclusion Générale et Perspectives

Avoir une interface qui s'adapte à vos besoins sans que vous les formuliez, ne serait ce pas un avantage prépondérant dans la bonne réalisation d'une tâche de supervision ou d'intervention. Surtout si l'opérateur n'a pas de prise directe d'informations sur le site de travail du système qu'il commande. Le concept d'interface adaptative en est la personnalisation.

Ce besoin est d'autant plus crucial que le domaine d'expérimentation du système se trouve être la Téléopération. Cette technique de commande d'un robot à distance sans avoir accès directement au site de travail oblige le système à fournir à l'opérateur des informations les plus précises et fiables possibles pour qu'il puisse en déduire un comportement de travail : l'interface adaptative peut faciliter ce choix en procurant les informations adéquates.

Mais la plus grande difficulté pour avoir une bonne adaptativité est que le modèle qui en est la base soit le plus complet possible et le plus proche de la vérité. Alors que faire pour éviter une modélisation trop complexe difficile à gérer et de toute façon impossible à mettre à jour ?

Notre travail a la prétention d'avoir apporté une pierre à l'édifice de la conception de ce type d'interface. En effet, les outils empruntés aux théories des sous-ensembles flous nous ont permis de combiner des informations hétérogènes dans le but de modéliser l'opérateur humain ou d'évaluer les informations pertinentes à afficher à l'opérateur à tout instant.

Cette utilisation de la logique floue apporte une certaine flexibilité au système. Flexibilité qui se retrouve au niveau de l'interface elle-même. Flexibilité qui autorise aussi une plus grande possibilité d'évolution du système utilisé ainsi que de l'utilisateur.

Ainsi l'interface a été développée dans le cadre de la Téléopération. Mais rien n'empêche de généraliser cette étude à d'autres domaines. Evidemment le support devra évoluer mais le fonctionnement du noyau restera identique à quelques critères près.

Pourtant certains aspects de ce travail peuvent paraître discutables, tant du point de vue de la théorie que de l'application.

Du point de vue théorique, on peut se demander si le choix de seulement trois classes pour définir l'opérateur est suffisant. En effet, plus le nombre de classes augmente et plus l'adaptation est précise et encore plus continue. L'idée de se trouver entre deux classes peut paraître troublant pour l'opérateur. En augmentant le nombre, l'utilisateur peut plus facilement se sentir en adéquation avec son niveau tel qu'il est décidé par le système.

En ce qui concerne le côté pratique de notre recherche, un problème subsiste : l'évaluation de TELEMAQUE2. En effet, nous avons développé différents concepts d'adaptativité que ce soit par rapport à la mission ou par rapport à l'opérateur. Mais nous n'avons pas encore validé

avec de vrais opérateurs les différents concepts que nous avons implémentés sur TELEMAQUE2.

Cette recherche pourrait se décomposer en trois étapes. Premièrement, il faudrait réaliser les améliorations qui seront proposées dans l'annexe 2. L'interface serait alors la plus opérationnelle possible. Deuxièmement, se poserait le choix de la technique d'évaluation de l'interface. Finalement, une question se poserait : comment choisir et qui choisir pour composer les groupes d'utilisateurs test ?

Notre travail ouvre en outre plusieurs perspectives provenant de nos recherches sur les interfaces homme-machine adaptatives.

Ainsi la première se trouve être dans la forme même de l'interface. Le chiffre 2 dans le nom de notre interface vient de l'idée que nous travaillons actuellement en deux dimensions. Mais dans quelques années, au moment où les outils de la réalité virtuelle seront devenus compétitifs, il faudra alors concevoir une interface en trois dimensions. L'opérateur se déplacera dans cet univers virtuel pour superviser ou intervenir. Actuellement, cette méthode est disponible mais elle est limitée dans la durée d'immersion dû à des problèmes physiologiques des opérateurs (perte de repère dans l'espace, nausées, ...). Ce qui est un inconvénient fatal dans le cas de supervision durant plusieurs heures. Certains grands groupes ont pourtant déjà réalisés ce type de produit (GIAT, EDF, DASSAULT, ...) mais ce sont dans la plupart des cas des outils d'entraînement à des opérations de maintenance.

Une seconde perspective possible est le traitement des informations dans le but de déterminer si elles sont fiables. En effet, au niveau de TELEMAQUE2, on ne fait que décider du choix des informations pertinentes. Les données reçues sont considérées comme fiables ou alors totalement fausses comme dans le cas d'un arrêt d'un capteur. Mais on ne teste pas le cas où il y aurait une dérive lente de ces valeurs voire même un problème au niveau du calculateur. Si ces concepts ont pour finalité d'être appliqués dans l'industrie, les critères de fiabilité et de robustesse sont primordiaux.

Une troisième perspective se trouve être le choix des différents critères caractérisant l'opérateur humain. Nous n'avons utilisé dans TELEMAQUE2 que peu de critères et les réponses aux différents questionnaires ne sont pas toutes traitées. Le choix s'est porté sur les critères les plus faciles à quantifier mais cela restreint fortement le modèle obtenu. Il faudrait donc identifier plus complètement l'utilisateur et ainsi décider du nombre de critères et de les définir. Et surtout il faudra trouver un moyen de les quantifier simplement. Une autre possibilité serait de trouver des interrelations entre les critères présélectionnés. Ainsi si l'un d'eux réussissait à être quantifié alors on pourrait limiter le champ de détermination des valeurs des autres critères associés.

Une quatrième perspective se situe au niveau du type d'adaptativité possible pour une interface homme-machine dans le cadre de la Téléopération. Nous pouvons ainsi imaginer que l'interface puisse s'adapter à d'autres critères que la mission et l'opérateur. On peut les classer en deux ensembles. Le premier concernerait une adaptativité plus statique. Elle pourrait l'être par rapport aux moyens de commande de l'opérateur. Ainsi le système pourrait s'adapter à l'absence ou à la panne soudaine d'une souris par exemple en offrant les mêmes fonctionnalités mais par l'intermédiaire de touches de clavier par exemple (comme Q pour quitter). Nous pouvons aussi imaginer que le système puisse considérer qu'à chaque action ou mission, un moyen de commande serait plus adéquate et donc modifier l'interface en conséquence. Un autre critère pourrait être la langue de l'opérateur. Le deuxième ensemble de critères serait lié à une adaptativité plus dynamique comme par rapport au type de capteurs présents sur le site esclave. En effet selon le type d'informations disponibles, l'interface

devrait évoluer pour présenter au mieux les données sous une forme pertinente. L'évolution pourrait considérer l'adjonction de nouveaux capteurs ou la panne soudaine de l'un d'entre eux.

Enfin une dernière perspective pourrait être l'adjonction de composantes multimodales au niveau de l'interface. En effet, certaines personnes assimilent mieux les informations sonores et d'autres visuelles. Ainsi la possibilité de transmettre de l'information via un autre canal sensoriel que la vue serait avantageux. L'adjonction d'écouteurs permettrait d'augmenter la bande passante d'enregistrement mémoriel de l'opérateur humain. Ils permettraient le transfert d'informations urgentes ou cruciales pour le bon déroulement de la mission. Une autre possibilité serait l'adjonction d'un micro et de son utilisation dans le lancement de commandes basiques laissant libre l'opérateur pour d'autres traitements. Le but serait de déterminer si l'utilisateur progresse plus vite avec une interface adaptative multimodale qu'avec une interface adaptative comme TELEMAQUE2. Il faudrait quantifier les avantages ainsi obtenus et les comparer au travail que cela a nécessité.

RÉFÉRENCES

- [ABI 92] **M. A. ABIDI, R. C. GONZALEZ**, « Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence », *Chapitre 3. Academic Press, Inc.*
- [ALO 96] **B.M. del Mar ALONSO**, « Analyse des tâches mono et multi-opérateurs du contrôle aérien par le formalisme M.A.D. pour la spécification ergonomique de l'interface », *Thèse de doctorat en psychologie cognitive (ergonomie)*, PARIS V, 27 juin 1996.
- [AMA 92] **R. AMALBERTI et F. DEBLON**, " Cognitive modeling of fighter aircraft process control : a step towards an intelligent onboard assistance system ", *International Journal of Man-Machine Studies*, 36(5).
- [AND] **R.J. ANDERSON**, « Teleoperation with Virtual Force Feedback ».
- [BAL 87] **H. BALZERT**, « Objectives for the humanization of software - a new and extensive approach », *Human-Computer Interaction - INTERACT'87*, pp. 5-10.
- [BAL] **L. BALINT**, « Adaptive Interfaces for Human-Computer Interaction : A colorful Spectrum of present and future options ».
- [BAR 86] **M.F. BARTHET**, « Conception d'applications conversationnelles adaptée à l'utilisateur », *Thèse de doctorat en informatique n°108*, Institut National Polytechnique de Toulouse, 21 Mars 1986.
- [BAR 94] **H. Le BARS, P. GRAVEZ and R. FOURNIER**, « Assisted supervision of a computer aided teleoperation system », *actes ORIA '94*, pp. 239-247.
- [BAS 93] **J.M.C. BASTIEN and D.L. SCAPIN**, « Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces », *Rapport technique n°156, programme 3*, Juin 1993, INRIA Rocquencourt.
- [BAS 94] **J.M.C. BASTIEN and D.L. SCAPIN**, « Evaluating a user interface with ergonomic criteria », *Rapport de recherche n°2326, programme 3*, Août 1994, INRIA Rocquencourt.
- [BAS] **C. BASTIEN et C. COLAS**, « Modélisation de la tâche d'un opérateur », *Neurosciences et ergonomie cognitive*, pp. 329-339.
- [BEJ 90] **A.K. BEJCZY, W.S. KIM and S.C. VENEMA**, « The Phantom Robot : Predictive Displays for teleoperation with Time Delay », *ch2876-*
-

1/90/0000/0546, 1990 IEEE, pp. 546-551.

- [BEN 87] **D. BENYON, P. INNOCENT and D. MURRAY**, « System adaptativity and the modelling of stereotypes », *INTERACT'87*, Elsevier Science Publishers, IFIP, pp. 245-253.
- [BIS 92] **P. BISSON, P. SOULARD, A. RAIMONDO and P. AKNIN**, « Interfaces homme-machine multimodales et adaptatives pour systèmes opérationnels », *1^{er} Journées Internationales de l'Interface des mondes réels et virtuels*, Montpellier (France), pp. 591-603, 1992.
- [BOU 93] **S. BOUKHOBZA and A. DUSSAUCHOY**, « Realization of a system for graphic automation of Petri nets », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, systems Engineering in the service of Humans*, Vol n°4, Le Touquet, October 17-20, pp. 307-311.
- [BOY 88] **G. BOY**, " Assistance à l'opérateur, une approche de l'intelligence Artificielle ", *Editions Tekna*, octobre 1988.
- [BRO 90] **D. BROWNE, P. TOTTERDELL and M. NORMAN**, " Adaptive User Interfaces ", *Academic Press*, 1990, 230 p.
- [CAC 93] **P.C. CACCIABUE**, « A methodology of human factors analysis for systems engineering », *IEEE SMC*, Le Touquet, 1993, pp. 689-694.
- [CAI 86] **F.CAIL**, " Présentation de l'information sur écran de visualisation ", *Revue bibliographique, Cahiers de notes documentaires*, INRS, n°23, 1986.
- [CAR 84] **J.M. CARROLL and C. CARRITHERS**, " Training Wheels in a User Interface ", *Comm. ACM*, vol. 27,8 (aout 1984), pp. 800-807.
- [CHA 94] **B. de la CHAPELLE and B. DUPLAT**, « Virtual reality and robotics beyond a mere interface », *actes ORIA'94*.
- [CHA 95] **A.R. CHAPPELL and C.M. MITCHELL**, « Addressing the Trained Novice/Expert Performance Gap in Complex Dynamic Systems : A case-based intelligent tutoring system », *IEEE 0-7803-2559-1/95*, pp. 4557-4562.
- [CHA 98] **F. CHAVAND and M. MALLEM**, « Enhanced Reality Versus Virtual reality for teleoperated robotics and Teleoperation », *CESA'98*, Hammamet, pp. 626-631.
- [CHI 94] **L. CHIN**, « Application of neural networks in target tracking data fusion », *IEEE AES*, volume 30(1), pp. 281-286.
- [CHR 75] **R.E. CHRIST**, " Review and analysis of color coding research for visual displays ", *Human Factors*, volume 17, n°6, pp. 542-570.
- [CHR 83] **R.E. CHRIST and G.M. CORSO**, " The Effects of extended practice on the evaluation of visual display codes. ", *Human Factors*, volume 25, n°1, pp. 71-84.
-

-
- [COC 84] **COCKERILL-SAMBRE**, " Prise en compte des facteurs humains dès la conception et l'installation de la coulée continue de la S.A. COCKERILL-SAMBRE- CHERTAL ", *Action Communautaire Ergonomique*, Recherche 107 247-11-026, Liège.
- [COR 85] **E.J. Mac CORMICK, M.S. SANDERS**, " Human factors in engineering and design, fifth edition ", *Mc Graw-Hill International Book Company*, New-York.
- [COU 90] **J. COUTAZ**, " Interface homme-ordinateur, conception et réalisation ", *DUNOD informatique*, 455 p, 1990.
- [CUS 84] **W.H. CUSHMAN, R.M. LITTLE, R.L LUCAS, R.E PUGSLEY and J.A. STEVENS**, " Equipment design ", *Ergonomic design for people at work*, by Eastman Kodak Company, Belmont (Californie), Lifetime Learning Publications, volume 1.
- [DAN 86] **F. DANIELLOU**, « L'opérateur, La vanne, l'écran, l'ergonomie des salles de contrôle », *Collection outils et méthodes*, 440p, avril 1986.
- [DAS 94] **I. DASSONVILLE, D. JOLLY and A.M. DESODT**, « Towards a modelisation of trust in teleoperation system », in *Advances in Agile Manufacturing*, vol n°4, PT. Kidd and W. Karvowski (Ed.), IOS Press, pp. 507-510, 1994.
- [DES 93] **A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Methodologies for the choice of control mode in telerobotics », *24th ISIR*, 1993, pp. 305-310.
- [DES 95] **A.M. DESODT, D. JOLLY and P. VIDAL**, « Use of a model of vigilance to control a surgical teleoperation task », *3rd French-israelian symposium on robotics*, 22-23 mai 1995.
- [DES 96] **A.M. DESODT-LEBRUN**, « Fusion de données », *Techniques de l'ingénieur*, traité Mesures et Contrôle, R 7 226.
- [DIM 98] **M. DIMITROVA, G. JOHANNSEN, H.A. NOUR ELDIN, J. ZAPRIANOV and M. HUBERT**, « Adaptativity in human-computer interface systems : identifying user profiles for personalised support », *IFAC-MMS*, Kyoto (Japan), 16-18 septembre 1998, pp. 467-472.
- [DUB 88] **D. DUBOIS et H. PRADE**, « Théorie des possibilités : application à la représentation des connaissances en informatique », *2nd edition*, ed. Masson, 292 pp.
- [EVE 89] **P. EVEN, L. MARCE, J. MORILLON and R. FOURNIER**, « The modelling system pyramide as an interactive help for the guidance of the inspection vehicle Centaure », *Rapport de recherche n°1061, programme 6*, Août 1989, INRIA Rennes.
- [EVE 93] **P. EVEN and R. FOURNIER**, « Exécution de tâches de télérobotique basée sur une programmation graphique et modélisation géométriques 3D », *IEEE*
-

SMC, Le Touquet, 1993, p132, Vol n°3.

- [EVS 98] **A. EVSUKOFF, S. GENTIL et J. MONTMAIN**, « Les systèmes flous pour l'aide en ligne aux opérateurs », *INIST CNRS*, pp. 121-126.
- [FIS 85] **H. FISCHER**, " Les usages sociaux de la couleur, pour une théorie sociologique des couleurs. ", *Cinquième congrès de l'Association Internationale de la Couleur*, Monte-Carlo, tome 2, juin 85.
- [FIS 93] **S. FISHER, M. McGREEVY, J. HUMPHRIES and W. ROBINETT**, « Virtual interface environment for telepresence applications », *ICAR'93*, pp. 71-77.
- [FRO 93] **J. FRÖHLICH and R. DILLMAN**, « Interactive Robot Control System for teleoperation », *24th ISIR*, 1993, pp. 327-334.
- [FUK 99] **S. FUKUZUMI and T. YAMAZAKI**, « Study on Stress Management : relationship among body sway, accommodation and mental fatigue by VDT work », *HCI'99*, Munich (Germany), August 22-27, pp. 79-83.
- [GAU 93] **B. GAUJAL, M. A. JAFARI and M. B. GURSOY**, « Performance Analysis of Timed Petri Nets », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, systems Engineering in the service of Humans*, Vol n°4, Le Touquet, October 17-20, pp. 312-316.
- [GRA 88] **P. GRAVEZ**, « Etude d'un système de supervision pour la téléopération assistée par ordinateur », *Thèse de doctorat en automatique n°1424*, Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois, 28 mars 1988.
- [GRA 95] **P. GRAVEZ et H. Le BARS**, « Coopération homme-machine en téléopération assistée par ordinateur », *Journées Supervision et Coopération Homme-Machine*, 12-13 janvier 1995.
- [GRE 87] **T. GREUTMANN and D. ACKERMAN**, « Individual differences in human-computer-interaction : how can we measure if the dialog grammar fits the user's needs ? », *INTERACT'87*, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 145-149.
- [GRI 95] **M. GRISLIN**, « Définition d'un cadre pour l'évaluation a priori des interfaces homme-machine dans les systèmes industriels de supervision », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°95.29*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 10 novembre 1995.
- [GRU 95] **G.Z. GRUDIC and P.D. LAWRENCE**, « Human-to-Robot Skill Transfer Via Teleoperation », 0-7803-2559 - 1/95, IEEE, pp. 2109-2114.
- [GUE 91] **T.M. GUERRA**, « Analyse de données objectifo-subjectives : approche par la théorie des sous-ensembles flous », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°9110*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 5 juillet 1991.
-

-
- [GUI 86] **C. GUILLEVIC, H. BENALET**, " Essai de catégorisation provoquées par un nouveau système technique dans l'activité de l'opérateur ", dans " L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique ", Editions de l'Université de Bruxelles, pp. 184-198.
- [HAA 87] **V. HAARSLEV**, « Human Factors in Computer Vision Systems : Design of an Interactive User interface », *Human-Computer Interaction INTERACT'87*, pp. 1021-1026.
- [HAL 94] **M. HALBACH and A. Van MUYSEWINKEL**, « Man machine interface for advanced teloperated mobile robots », *actes ORIA'94*.
- [HAT 87] **HATLEY**, « SADT est un langage pour communiquer », *IGL technologie*, Editions Eyrolles, 1987.
- [HES 88] **B. HESKETH, R. PRYOR, M. GLEITZMAN and T. HESKETH**, « Practical applications and psychometric evaluation of a computerised fuzzy graphic rating scale », *Fuzzy Sets in Psychology*, Ed. T. Zétényi, Elsevier Science Publishers, pp. 425-454.
- [HIR 93] **G. HIRZINGER**, « ROTEX, the first robot in space », *ICAR 93*, pp. 9-33.
- [HOC 94] **J.M. HOC**, « La résolution de problème en situation dynamique : Apports de la Psychologie Cognitive et implications sur la conception de la coopération homme-machine », *Journées « Supervision et coopération homme-machine » du GDR Automatique*, octobre 1994, 25pp.
- [HUT 86] **E.L. HUTCHINS, J.D. HOLLAN, D.A. NORMAN**, " Direct Manipulation Interfaces, User Centered System Design ", *Lawrence Erlbaum Associates*, Publishers, pp. 87-124.
- [IBR 95] **B. IBRAHIM**, « Une nouvelle étape dans la convivialité : Les logiciels auto-éducatifs », *Informatique et Technologies modernes de l'Enseignement et de la Formation*.
- [ISH 95] **K. ISHIMARU, N. HARADA, K. YAMADA, A. NUKUZUMA and H. FURUKAWA**, « User Model for Intelligent Cooperative Dialog System », n° 0-7803-2461-7/95, pp. 831-836.
- [JEN 93] **Mu Der JENG and Chient Lung SHIEH**, « A software tool for synthetizing Petri nets in automated manufacturing systems », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, systems Engineering in the service of Humans*, Vol n°4, Le Touquet, October 17-20, pp. 302-306.
- [JOH 79] **G. JOHANNSEN**, « Workload and workload measurement », in *Mental Workload: its theory and measurement*, Plenum Press, New-York and London, pp. 3-11.
- [JOR 99] **A. H. JORGENSEN, A.H. GARDE, B. LAURSEN and B.R. JENSEN**, « Mental Workload in IT Work : Combining Cognitive and Pshycological Perspectives », *HCI'99*, Munich (Germany), August 22-27, pp. 97-101.
-

- [KAR 86] **W. KARWOWSKI and A. MITAL**, « Applications of approximate reasoning in risk analysis », *Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986.
- [KEY 80] **V. De KEYSER**, " Etude sur la contribution que pourrait apporter l'ergonomie à la conception des systèmes de commande et d'alerte dans des industries de transformation ", *Rapport S/79/45*, volumes 1 et 2, Luxembourg.
- [KHE 95] **A. KHEDDAR, M. BOUZIT and P. COIFFET**, « A virtual reality system devoted to telerobotics and applications in telesurgery », *3rd French-israelian symposium on robotics*, 22-23 mai 1995.
- [KHE 98] **A. KHEDDAR, J.G. FONTAINE and P. COIFFET**, « Mobile Robot Teleoperation in Virtual Reality », *CESA'98 Hammamet*, pp. 104-109.
- [KIM 91] **W.S. KIM and A.K. BEJCZY**, « Graphics Displays for operator Aid in Telemanipulation », ISSN #0-7803-0233-8/91 \$1000, IEEE, pp. 1059-1067, 1991.
- [KOL 95] **C. KOLSKI**, « Méthodes et modèles de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine », *Habilitation à diriger des recherches en spécialité Informatique*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 4 janvier 1995.
- [KOL 97] **C. KOLSKI**, " Interface Homme-Machine application aux systèmes industriels ", *HERMES 97*.
- [KOW 86] **J. L. KOWAL**, « La technique du fenêtrage comme moyen facilitant le dialogue homme-machine dans un expérience d'une leçon de formation assistée par ordinateur », dans " L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique ", Editions de l'Université de Bruxelles, pp. 391-402 .
- [LAV 93] **V. LAVAL**, « Modélisation de l'activité d'opérateurs d'un système complexe dans une perspective de conception des supports informatisés - le cas du contrôle du trafic aérien - », *Rapport n°93039*, CENA.
- [LIE 87] **H. LIEBERMAN**, " Reversible Object-Oriented Interpreters ", *ECOOP'87, the European Conference on Object Oriented Programming*, (June 1987), pp. 13-22.
- [LON 84] **T. LONG**, " Human Factors principles for the design of computer graphics displays. ", *British Telecom Technology Journal*, n°2, pp. 5-14.
- [LUO 88] **R. C. LUO, M. H. LIN and R. S. SCHERP**, « Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots », *I.E.E.E Journal of Robotics and Automation*, Vol 4, N°4, August 1988.
- [LUT 87] **R. LUTZE**, « Customizing Help Systems to Task Structures and User Needs », *INTERACT'87*, Ed. Elsevier Science Publishers B.V., pp. 871-878.
- [MAL 90] **A. MALLEM**, « Aide à la perception en téléopération : superposition à une image synthétique animée en « temps réel » à partir d'informations capteurs »,
-

Thèse de doctorat en robotique, Université Paris XII, 24 avril 1990.

- [MAL 92] **M. MALLEM, F. CHAVAND and E. COLLE**, « Computer-assisted visual perception in teleoperated robotics », *Robotica volume n°10*, 1992, pp. 93-103.
- [MAL 94] **M. MALLEM, C. N'ZI and F. CHAVAND**, « Multimedia control interface in teleoperation based on « virtual-real » approach », *actes ORIA '94*.
- [MAN 93] **R. MANDIAU**, " Contribution à la modélisation des univers multi agents : génération d'un plan partagé ", *Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, Février 1993*.
- [MAS 92] **M. MASSON et V. DE KEYSER**, " Human errors learned from field study for the specification of an intelligent error prevention system ", *In S. Humar (Ed.), Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV*, pp. 1085-1092, Taylor&Francis.
- [MAS 95] **E. MASKER**, " Programmation en ligne dans le cadre de la Téléopération ", *Rapport de DEA d'automatique et Informatique Industrielle, Université des Sciences et Technologies de Lille Flandres-Artois, 1995*.
- [MES 94] **S. MESTIRI, D. JOLLY, J.M. JACQUESSON and A.M. DESODT**, « Vigilance in a teleoperation task », in *Advances in Agile Manufacturing*, vol n°4, PT. Kidd and W. Karwowski (Ed.), IOS Press, pp. 515-518, 1994.
- [MIL 68] **G.A. MILLER**, " Psychology and information ", *American Documentation*, 193, pp. 286-289.
- [MIL 77] **G.A. MILLER, G.C THOMAS**, " Behavioral issues in the use of interactive systems ", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol 9, n°5.
- [MON 96] **J. MONTMAIN et S. GENTIL**, « Operation support for alarm filtering », *Symposium Computational Engineering in systems applications, IEEE CESA'96, Lille*.
- [MOR 95] **N. MORAY, D. HISKES, J. LEE and B.M. MUIR**, « Trust and Human intervention in automated systems », de « *Expertise and technology: cognition and human-computer cooperation* », ed. Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1995, pp. 183-212.
- [NON 98] **H. NONAKA and T. DA-TE**, « Adaptive human interface based on fuzzy behavior model », *EUFIT'98*, September 7-10, Aachen (Germany), pp 1707-1710.
- [NOT 86] **D. NOTTE**, " Ergonomie - Applications informatiques dans les processus industriels continus : le point de vue des opérateurs ", dans " *L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique* ", Editions de l'Université de Bruxelles, pp. 391-402 .
- [OKA 99] **M. OKA and M. NAGATA**, « A graphical user interface shifting from
-

novice to expert », *HCI'99*, Munich (Germany), August 22-27, pp 341-345.

- [OPP 97] **R. OPPERMAN, R. RASHEV and KINSHUK**, « Adaptability and Adaptativity in Learning Systems », in *Knowledge Transfer (Volume II)*, Ed. A. Behrooz, 1997, pAce, London, UK, pp173-179, ISBN -900427-015-X.
- [PAO 90] **J.C. PAOLETTI et L. MARCÉ**, « Yalta : un langage pour la téléopération », *Rapport de recherche n°1258, programme 6*, juin 1990, INRIA Rennes.
- [PAS 92] **B. de LA PASSARDIERE and A. DUFRESNE**, « Adaptive Navigational Tools for Educational Hypermedia », *Computer Assisted Learning*, Ed. I. Tomek, 1992, pp. 555-567.
- [PEP 88] **R.L. PEPPER and P.K. KAOMEA**, « Teleoperation : telepresence et estimation des performances », Proc. Int. Symposium teleoperation and Control, p 227-234, Juillet 1988.
- [PER 94] **P. PERUCH, D. MESTRE, C. TERRE and R. FOURNIER**, « Visual aspects of human-machine interfaces in driving remote-controlled vehicles », *actes ORIA'94*.
- [RAS 99] **A. RASTAGI, P. MILGRAM and J. GRODSKI**, « Augmented telerobotic Control : a visual interface for unstructured environments », internet.
- [ROG 80] **D. ROGER et P. MILLOT**, « Ergonomie et Robotique : Le problème du dialogue Homme-Robot », 1980.
- [SAL 83] **P. SALLIO**, " Utilisation des couleurs en technique vidéotex : cas des écrans textuels. ", *Radiodiffusion-télévision*, n°78, Editions IPF, Paris.
- [SAL 92] **J. SALISBURY and M. SRINIVASAN**, " Virtual Environment Technology for Training ", *BBN Report No.7661*, VETREC, MIT.
- [SCA 86] **D. SCAPIN**, " Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. ", *rapport technique INRIA n°77*, Le Chesnay.
- [SCA 96] **D.L. SCAPIN et J.M.C. BASTIEN**, « Inspection d'interfaces et critères ergonomiques », *Rapport de recherche n°2901, thème 3*, Mai 1996, INRIA Rocquencourt.
- [SEB 91] **S. SEBILLOTTE**, « Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs. De l'interview à la formalisation », *Rapport technique n°125*, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, Rocquencourt, France.
- [SEB 94] **S. SEBILLOTTE**, « Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interfaces », *Rapport technique n°163, programme 3*, Mai 1994, INRIA Rocquencourt.
- [SEI 87] **M.K. SEIN, R.P. BOSTROM and L. OLFMAN**, « Conceptual models in training novice users », *INTERACT'87*, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 861-867.
-

-
- [SHE 74] **T.B. SHERIDAN and W. FERREL**, « Man-Machine systems : Information, control and decision models of human performance », *MIT Press*, 1974.
- [SHE 92a] **T.B. SHERIDAN**, « Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control », The M.I.T. Press Cambridge, Massachussets, 1992.
- [SHE 92b] **T.B. SHERIDAN**, « Teleoperation, telerobotics and telepresence : a progress report », *IFAC Man-Machine Systems*, The Hague, The Netherlands, 1992, pp. 1-8.
- [SHN 90] **B. SHNEIDERMAN and G. KEARSLEY**, « HYPERTEXT HANDS-ON : an Introduction to a New Way of Organizing and Accessing Informations », *Addison-Wesley Publishing Company*, 1990.
- [SIM] **P. SIMON, F. ROUSSEAU and J-C ANGUÉ**, « Quantitative Analysis of Mental Workload Influence on Eye Scanning Movements », pp. 707-712.
- [SPE 80] **J.C. SPERANDIO**, « La psychologie en ergonomie », *Presses Universitaires France Le Psychologue*, 1980, 220p.
- [SPE 84] **J.C. SPERANDIO**, « L'ergonomie du travail mental », ed Masson, 130 p, 1984.
- [SPE 91] **J.C. SPERANDIO**, « Les méthodes d'analyse du travail en psychologie ergonomique », in J.P. ROSSI, Ed. *La Recherche en psychologie, Domaines et Méthodes*, Dunod, pp. 197-237, 1991.
- [STA 87] **L. STARK, W.S. KIM**, « Telerobotics : display, control and communication problems », *IEEE Journal of robotics and automation*, Vol RA3 n°1, février 1987.
- [STA 88] **L. STARK**, « Telerobotics : problems et needs of the research », *IEEE trans on aerospace and electronic systems*, Vol 24 n°5, september 1988.
- [STE 76] **T.F.M. STEWART**, " Displays and the software interface ", *Applied Ergonomics*, volume 7, n°3, pp. 137-146.
- [STO 92] **R. STONE**, « Virtual reality and telepresence », *Robotica*, volume n°10, 1992, pp. 461-467.
- [TEN 92] **M. TENDJAOU**, « Contribution à la conception d'interface « intelligente » pour le contrôle de procédés industriels : application au module décisionnel d'imagerie », *Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°92.20*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 20 novembre 1992.
- [THI 94] **C. THIBOUT, P. EVEN and R. FOURNIER**, « Virtual reality for teleoperated robot control », *actes ORIA'94*.
- [TOL] **B. TOLLEY**, « Teleman : a european communities robotics programme for the nuclear industry », *TELEMAN Programme, DG XII*, Commission of the
-

European Communities, Rue de la Loi, n°200, B - 1049, Brussels, Belgium.

- [TOT 87] **P.A. TOTTERDELL, M.A. NORMAN and D.P. BROWNE**, « Levels of adaptativity in interface design », *Human-Computer Interaction INTERACT'87*, pp. 715-722.
- [TUF 83] **E.R. TUFTE**, " The Visual Display of Quantitative Information ", *Graphics Press*, Box 430, Cheshire, Connecticut 06410.
- [TUL 83] **T.S. TULLIS**, " The formatting of alphanumeric displays : a review and analysis.", *Human Factors*, n°25, pp. 657-682.
- [UTT 89] **K. UTTING and N. YANKELOVICH**, « Context and Orientation in Hypermedia Networks », *ACM transactions on Information Systems*, Vol. 7, n°1, January 1989, pp. 58-84.
- [VAL 87] **A. VALENTIN, R. LUCONGSANG**, " L'ergonomie des logiciels. ", *ANACT*, Collection Outils et Méthodes, Paris.
- [VER 84] **J. VERTUT et P. COIFFET**, « Téléopération évolution des technologies », tome 3A, collection Les Robots, Hermès, 1984.
- [VEZ 74] **J.F. VEZIN**, " Modalité de présentation des informations favorisant la vue d'ensemble. ", *Leur rôle dans l'apprentissage, le Travail Humain*, vol 37, n°1, pp. 73-92.
- [VIE 96a] **F. VIENNE, A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Conception d'une interface homme-machine adaptable dans le cadre de la téléopération : TELEMAQUE 2 », *5èmes Journées Internationales de « l'Interface des mondes réels et virtuels »*, Montpellier (France), 22-24 Mai 1996, pp. 41-50.
- [VIE 96b] **F. VIENNE, G. ZUNINO, A.M. JOLLY-DESODT and D. JOLLY**, « Application of Fuzzy Logic to the Fusion of Information in the Framework of Man/Machine Interface », *CESA'96 IMACS, IEEE-SMC, Symposium on Robotics and Cybernetics*, Lille (France), 9-12 Juillet 1996, pp. 416-421.
- [VIE 98] **F. VIENNE, A.M. JOLLY-DESODT and D. JOLLY**, « Application of fuzzy logic to the modeling of human operator in the framework of man machine interface », *CESA'98 IMACS, IEEE-SMC*, Hammamet (Tunisie), 1-4 avril 1998.
- [VIE 99] **F. VIENNE, A.M. JOLLY-DESODT and D. JOLLY**, « Use of Fuzzy Logic in an Adaptive Interface meant for Teleoperation », *HCI'99*, Munich (Germany), 22-27 August 1999, pp. 306-310.
- [VIT 81] **J. VITTET**, " Eléments pour une conception intégrée des salles de contrôle. ", *Thèse de Docteur Ingénieur*, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981.
- [WAN 87] **J.C. WANNER**, " Facteur humain et sécurité ", *Séminaire : erreurs humaines et automatisation*, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, 19-20 mai 1987.
-

-
- [WAL 90] **E. WALTZ, J. LLINAS**, « Multisensor Data Fusion », *Artech House*.
- [WAW 94] **F. WAWAK, A.M. DESODT and D. JOLLY**, « Fuzzy characterisation of the human operator for a decision support system in teleoperation », *13^{eme} European annual conference on Human-decision making and Manual Control*, ESPOO (Finlande), 13-14 juin 1994, pp. 156-165.
- [WAW 96] **F. WAWAK**, « Elaboration d'un système d'aide à la décision pour la supervision en téléopération : approche basée sur les théories des sous-ensembles flous et des possibilités », *Thèse de doctorat en automatique et informatique industrielle n°1733*, Université des Sciences et Technologies de Lille, 3 Mai 1996.
- [ZAD 78] **L. A. ZADEH**, « PRUF : a meaning representation language for natural languages », *International Journal of Man-Machine Studies*, 10, pp. 395-460.
- [ZIE 95] **R. ZIEGLER, W. MUELLER, G. FISCHER and M. GOEBEL**, « A Virtual reality medical training system », *CVR Med'95*, pp. 282-292.
-

ANNEXE

Présentation des différents questionnaires accessibles aux utilisateurs de TELEMAQUE 2

1. Introduction

Cette annexe a pour but de présenter les différents questionnaires proposés aux utilisateurs de TELEMAQUE 2. Sont présentés les questionnaires préliminaires à la première utilisation, avant chaque utilisation et celui postérieur à chaque utilisation.

Le questionnaire préliminaire permet au système de décider quelles sont les appartenances initiales de l'opérateur aux différentes classes des critères.

Le questionnaire donné avant chaque utilisation permet de les mettre à jour et de les comparer avec les appartenances déterminées par le système automatiquement.

Le questionnaire donné en fin de séance donne la possibilité de vérifier le bon fonctionnement de l'adaptativité de l'interface.

Ces enquêtes sont présentes au niveau de l'interface avant et après chaque mission et sont inspirées de celles définies dans la thèse de doctorat de Marius Beka Be Nguema [NGU 94].

2. Questionnaire préliminaire

Ce questionnaire apparaît lors de la première connexion d'un nouvel utilisateur sur TELEMAQUE 2. Après qu'il se soit connecté, apparaît en premier questionnaire la figure A.1 afin que le système puisse déterminer les différentes appartenances de l'opérateur.

QUESTIONNAIRE PRÉLIMINAIRE TELEMAQUE 2

1. Votre connaissance en informatique :

bonne moyenne mauvaise

2. Age :

3. Vous êtes du sexe : Féminin Masculin

4. A l'instant présent, comment jugez-vous vos capacités par rapport à vos potentialités ?

physiques :

|-----|
très faibles excellentes

intellectuelles :

|-----|
très faibles excellentes

5. Quelle est votre confiance dans le système a priori ?

|-----|
très faible excellente

6. Vous êtes :

droitier
 gaucher
 ambidextre

7. Avez-vous des problèmes de vision ?

Oui Non

8. Si oui, vous êtes :

myope
 hypermétrope
 daltonien
 astigmatique
 presbyte

9. Évaluez votre attitude face à une situation inconnue ou dangereuse ?

|-----|
prise de risque sécuritaire
maximale

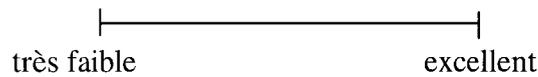
10. Évaluez votre tendance à la panique ?

|-----|
très faible très forte

Figure A.9.1 : Questionnaire préliminaire

3. Questionnaire avant le début de chaque mission

Dès que l'opérateur s'est connecté au système, apparaît une fiche avec les indications concernant par exemple son état physique et mental. Cela apporte la possibilité de faire évoluer la fiche de l'utilisateur. On lui demande aussi de déterminer son niveau



La méthode ci-dessous a été utilisée dans le cas de TELEMAQUE2.

Nous avons défini un « masque » pour déterminer cette valeur. Deux types ont été retenus. Ils sont visualisés sur la figure A.4.

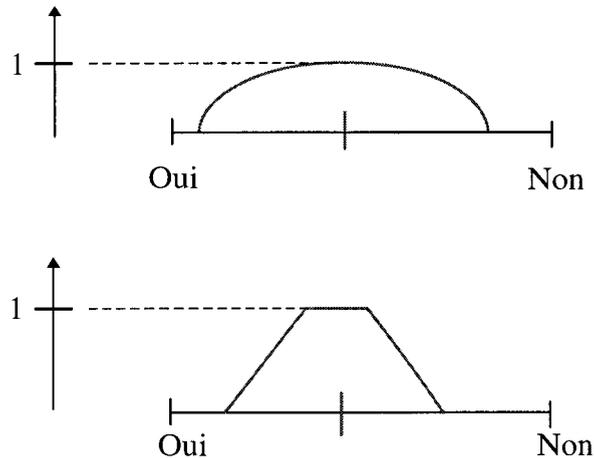


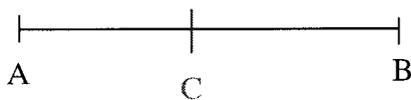
Figure A.9.4 : Types de masque pour l'évaluation du résultat

Ces formes de la fonction d'appartenance symbolisent la classe « est la réponse de l'opérateur ». De plus, la largeur de la base peut dépendre du temps utilisé par l'opérateur pour répondre à la question.

Prenons le premier type de masque et calculons la valeur retournée après traitement. Cette méthode se décompose en plusieurs étapes :

1^{ère} Etape :

L'opérateur décide du placement de sa réponse.

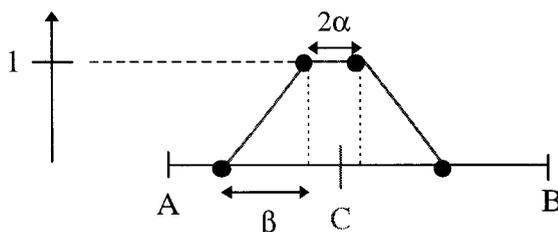


Soit $V(i)$ la valeur retournée pour la question i , nous obtenons :

$$V(i) = \frac{AC}{AB}$$

2^{ème} Etape :

On place le masque

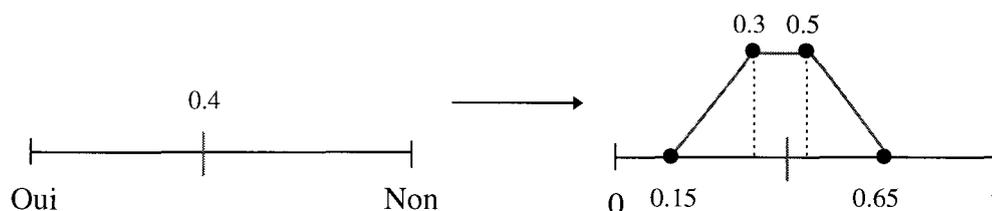


Si $\alpha + \beta \leq |AC|$ et $\alpha + \beta \leq |CB|$, nous avons pour la valeur retournée à la question i une fonction d'appartenance ayant comme éléments caractéristiques :

Son support équivaut au domaine $[C - \alpha - \beta, C + \alpha + \beta]$.

Son noyau équivaut au domaine $[C - \alpha, C + \alpha]$.

Prenons l'exemple suivant, avec $\alpha = 0.1$ et $\beta = 0.15$,



3^{ème} Etape :

Nous devons ensuite agréger les différentes fonctions d'appartenance selon la règle de Dubois et Prade [DUB 88] dans le cas de fusion de plusieurs questions pour obtenir un résultat général ou dans le cas d'agrégation d'une valeur à plusieurs instants. Soit π la fonction d'appartenance résultante de l'agrégation des fonctions π_1 et π_2 .

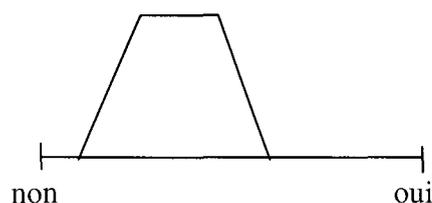
$$\pi(\omega) = \max \left[\frac{\min(\pi_1(\omega), \pi_2(\omega))}{h(\pi_1, \pi_2)}, \min[\max(\pi_1(\omega), \pi_2(\omega)), 1 - h(\pi_1, \pi_2)] \right]$$

avec : $h(\pi_1, \pi_2) = \sup_{\omega \in \Omega} (\min(\pi_1(\omega), \pi_2(\omega)))$

et ω correspondant aux valeurs de l'axe des abscisses.

Par exemple, dans le cas suivant les deux résultats peuvent apporter l'avis de l'opérateur sur son travail que ce soit au niveau résultat qu'au niveau qualité.

1. Etes-vous satisfait de la qualité de votre travail ?



2. Pensez-vous que vos résultats sont :

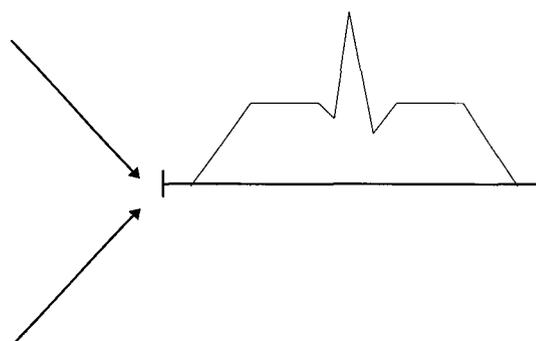
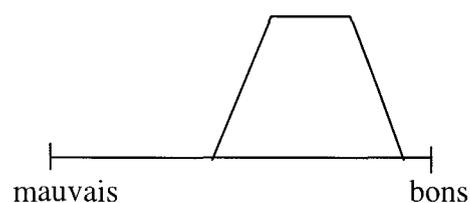


Figure A.9.5 : Exemple d'agrégation de deux fonctions d'appartenance

Pour defuzzifier, on utilise la méthode développée au paragraphe 3.2.2.3.5. [HES 88].

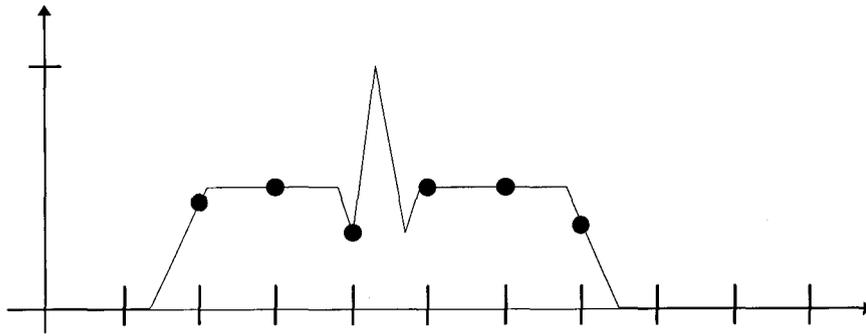


Figure A.9.6 : Exemple de defuzzification

On obtient alors $A = 0.45 + 0.5 + 0.35 + 0.5 + 0.5 + 0.4 = 2.7$

$$\text{Puis } B = \frac{\sum f(x).x}{A} = \frac{2*0.45 + 3*0.5 + 4*0.35 + 5*0.5 + 6*0.5 + 7*0.4}{2.7} \cong 4.5$$

La valeur retournée correspond donc à 4.5.

Le critère principal pour la création des fonctions d'appartenance est le choix des valeurs α et β . Ce choix peut découler d'une question générique donnée à la fin de chaque questionnaire :

Déterminer la fiabilité de vos réponses :

- PRECISE
- LEGEREMENT IMPRECISE
- IMPRECISE

Ce choix modifierait les valeurs de la façon suivante :

	α	β
Précis	: 0.05	0.1
Légèrement imprécis	: 0.1	0.2
Fortement imprécis	: 0.2	0.3

Cette technique permettrait donc de nuancer les résultats fournis par l'opérateur au niveau des réponses sur les échelles. Mais le choix des valeurs de α et β est un problème critique et nécessitera une évaluation très précise. Car si ces valeurs sont trop importantes, le système aura une somme d'informations non pertinentes puisque trop imprécis. Le but de l'intégration de ces valeurs est de nuancer la précision du choix fait par l'opérateur et non pas d'atténuer trop fortement cette précision.

6. Références

- [BEK 94] **Marius BEKA BE NGUEMA**, « Comportement de l'opérateur humain face à une situation dégradée et imprévue : contribution à la réalisation d'une interface homme-machine tolérante à certaines erreurs humaines », *thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine n°94.47*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 22 décembre 1994.
- [DUB 88] **D. DUBOIS et H. PRADE**, « Théorie des possibilités : application à la représentation des connaissances en informatique », *2nd edition, ed. Masson*, 292 pp.
- [HES 88] **B. HESKETH, R. PRYOR, M. GLEITZMAN and T. HESKETH**, « Practical applications and psychometric evaluation of a computerised fuzzy graphic rating scale », *Fuzzy Sets in Psychology*, Ed. T. Zétényi, Elsevier Science Publishers, pp. 425-454.

