

N° d'ordre 483

50376
1990
37

50376
1990
37

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour l'obtention du

DOCTORAT

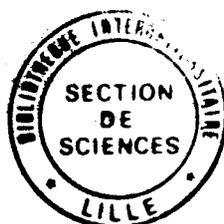
Spécialité

PRODUCTIQUE: AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE
INDUSTRIELLE

par

Aïcha GUERROUAD

Ingénieur U.S.T.O.



SYNTHESE D'UN POSTE INTEGRE EN TELEOPERATION: LE MODELE SUPERWOMAN

Soutenue le 29 Janvier 1990 devant la Commission d'Examen:

MM:	Pierre	VIDAL	Président
	Jean Claude	HACHE	Rapporteur
	Noël	MALVACHE	Rapporteur
	Daniel	JOLLY	Examineur
	Salah	MAOUCHE	Examineur



50376
1990
37

70964

50376
1990
37



A la mémoire de mon père

A ma mère et mes sœurs

***A Christophe FONTE qui a su
être présent malgré la longue distance***



REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille 1.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Pierre VIDAL, Directeur du Centre d'Automatique de Lille, pour l'accueil qu'il m'a réservé et les moyens qu'il a mis à ma disposition pour la réalisation de ce travail.

Je le remercie très sincèrement d'avoir accepté de diriger ces recherches et de l'honneur qu'il me fait en assurant la présidence du jury.

Je remercie également Monsieur Jean Claude HACHE, Professeur d'Ophthalmologie au CHR (Centre Hospitalier Régional) de Lille, pour l'intérêt qu'il me manifeste en acceptant d'être rapporteur de ce travail.

Je suis très reconnaissante à Monsieur le Professeur Noël MALVACHE, Directeur du Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine de l'Université de Valenciennes, pour la confiance qu'il m'accorde en acceptant d'être rapporteur de ce travail. Je le remercie vivement.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur Daniel JOLLY, Maître de conférences à l'E.U.D.I.L., pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail en acceptant de participer au jury de thèse.

Que Monsieur Salah MAOUCHE, Maître de conférences à l'I.U.T. de Lille, soit assuré de ma profonde gratitude pour l'intérêt qu'il m'a témoigné dans mon travail en acceptant de faire partie du jury de thèse.

Je remercie tous ceux qui, au cours de ces années de recherches m'ont apporté l'assistance la plus précieuse: leur confiance et leur amitié et tout particulièrement:

-M^{me} Anne-Marie DESODT et son mari M. Philippe DESODT. Grâce à eux, j'ai pu achever ce travail dans de meilleures conditions. Je crois que je ne les remercierai jamais assez.

-M^{me} Annick PIGNON et M. Pierre BONNET pour le soutien amical qu'ils m'ont manifesté durant toutes ces années et qui m'a été d'une aide précieuse.

-M. Bernard LEPERS, pour les nombreux conseils qu'il m'a donné tout au long de ce travail.

Et enfin un merci à tous ceux qui de près ou de loin m'ont témoigné leur soutien.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

AVANT PROPOS

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : MODELE D'OPERATEUR HUMAIN: ETUDE ET SYNTHESE

I-1 Introduction	p.6
I-2 Les modèles normatifs	p.6
I-2-1- Modèle quasi-linéaire	p.7
I-2-2- Modèle de detection de panne	p.8
I-2-3- Modèle de commande optimale	p.10
I-3 Les modèles cognitifs	p.13
I-3-1- Modèle séquentiel à boucles multiples	p.13
I-3-2- Modèle SAINT	p.16
I-3-3- Modèle HOS	p.17
I-3-4- Modèle PROCRU	p.19
I-3-5- Modèle de RASMUSSEN	p.21
I-3-6- Modèle KARL	p.21
I-3-7- Modèle SUPERMAN	p.23
I-4 Conclusion	p.25

CHAPITRE II : COOPERATION HOMME/MACHINE ET TELEOPERATION

II-1 Introduction	p.28
II-2 La communication Homme/Machine en T.A.O.	p.32
II-2-1- L'homme participe à la génération de trajectoires	p.32
II-2-2- Commande en supervision	p.32
II-3 Conduite du dialogue	p.33
II-4 Partage de tâches	p.34

1- L'approche expérimentale	p.35
2- L'approche systémique	p.35
3- Comparaison des deux approches	p.35
II-5 Structure des systèmes Homme/Machine	p.39
1-Structure de commande	p.39
2-Modes de fonctionnement	p.41
II-6 Partage de la commande	p.46
II-6-1- Evaluation des performances Homme/Machine	p.47
II-6-2- Critères de découplage	p.48
II-7 Problèmes posés par le mode mixte	p.49
II-8 Conclusion	p.50
 CHAPITRE III : ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'OPERATEUR AU NIVEAU PERCEPTION DE L'INFORMATION	
III-1 Introduction	p.52
III-2 Objectif du retour d'information en T.A.O.	p.53
III-3 Problèmes liés au transfert de l'information	p.54
III-3-1- Rappel sur l'information et la communication	p.56
III-3-2- Gestion des informations en T.A.O.	p.57
III-3-3- Facteurs contribuant à un mauvais transfert de l'information	p.59
III-4 Etude du comportement de l'opérateur	p.59
III-4-1- Position du problème	p.59
III-4-2- Approche utilisée	p.60
III-5 Etude du comportement de l'opérateur au niveau perception	p.62
III-6 Evaluation du taux de perception	p.63
III-7 Effet de la redondance sur la perception	p.69

III-8 Conclusion p.71

CHAPITRE IV : ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'OPERATEUR AU NIVEAU DECISION: CONTRIBUTION A L'ELEBORATION DU MODELE SUPERWOMAN

IV-1 Introduction p.73

IV-2 Structure et fonctionnement du modèle SUPERWOMAN p.76

IV-2-1- Structure de la commande interactive en T.A.O. p.76

IV-2-2- Analyse des tâches et contribution à la conception
du poste de travail dans SUPERWOMAN p.77

IV-2-3- Conception du poste opérateur:
étude ergonomique p.79

IV-3 Les modes de dialogues utilisés dans SUPERWOMAN p.80

IV-3-1- Commande vocale utilisée p.81

IV-3-2- Console manuelle utilisée p.87

IV-3-3- Commande du Micromanipulateur
par la souris p.91

IV-4 Etude comparative des différents moyens de dialogue p.93

IV-4-1- Expérimentation p.94

IV-4-2- Définition des critères de comparaison p.94

IV-4-3- Mesures p.96

IV-4-4- Bilan p.99

IV-5 Conclusion p.100

CHAPITRE V : MISE EN OEUVRE DE SUPERWOMAN SUR LE SITE T.A.O. ET EVALUATION DES PERFORMANCES HOMME/TELEOPERATEUR

V-1 Introduction p.102

V-2 Architecture du site expérimental T.A.O. p.102

V-3 Gestion du retour informationnel dans SUPERWOMAN p.108

V-3-1- Description du panneau de contrôle p.109

V-3-2- Exemples d'opérations concernées
par l'acte de T.A.O. p.111

V-4 Evaluation du modèle SUPERWOMAN dans une tâche de haute précision	p.116
V-4-1- Interprétation des résultats	p.118
V-5 Evaluation de la charge de travail de l'opérateur	p.118
V-5-1- Elaboration de l'expérimentation	p.119
V-5-2- Analyse des résultats	p.122
V-5-3- Intérêt de l'évaluation de la charge de travail de l'opérateur	p.122
V-6 Evaluation de la charge cognitive	p.123
V-6-1- Variables enregistrées	p.123
V-6-2- Conditions expérimentales	p.123
V-6-3- Interprétations des résultats	p.124
V-7 Sélection de l'information pertinente dans SUPERWOMAN Aide à la décision	p.125
V-7-1- Formulation du problème	p.125
V-7-2- Evaluation des critères	p.127
V-7-3- Filtrage des messages	p.128
V-8 Application de méthodes d'aide à la décision	p.129
V-8-1- Etudes expérimentales	p.129
V-9 Conclusion et perspectives	p.131
CONCLUSION GENERALE	P.133
BIBLIOGRAPHIE	P.135
ANNEXE 1 : Carte de synthèse vocale	p.146
ANNEXE 2 : Carte de reconnaissance vocale	p.153
ANNEXE 3 : Protocole d'échange sur liaison série	p.158
ANNEXE 4 : Caractéristiques des capteurs utilisés	p.164

AVANT PROPOS

A PROPOS DE LA TELEOPERATION:

La notion de téléopération désigne le fait de prolonger tout ou partie de l'opérateur dans un milieu hostile, non modélisable. Le système complexe qui joue le rôle d'intermédiaire est alors appelé Télémanipulateur avancé ou encore "robot de coopération".

D'un point de vue historique, l'origine de cette discipline remonte à la seconde guerre mondiale, où elle fût principalement créée pour les besoins du nucléaire. Elle s'est par la suite considérablement répandue dans d'autres domaines, tels que le sous-marin, le spatial, et plus récemment en microchirurgie. Ce dernier domaine montre un élargissement de la notion de milieu hostile qui devient désormais " **tout environnement impliquant des dangers pour l'homme et/ou des performances supérieures à ses capacités naturelles**".

Les principaux avantages apportés par un tel système de T.A.O. (Téléopération Assistée par Ordinateur), dans le domaine de la microchirurgie sont appréciables en termes d'amélioration de la précision, de la sécurité mais aussi de confort. En effet, la limite actuelle de la précision des opérations en microchirurgie est celle permise par un homme bien entraîné, travaillant sous microscope.

L'utilisation de capteurs de proximité, indispensables à l'automatisation du système permet entre autres, d'accroître la sécurité en délimitant des zones interdites (commande référencée capteurs avec blocage de degrés de liberté d.d.l.). Enfin, lorsque le chirurgien opère, il est souvent soumis à une certaine tension, résultant du caractère délicat de certaines phases alors qu'une répétition de mouvements peut être constatée lors de l'exécution de point de sutures par exemple. Si ces dernières phases étaient exécutées en mode automatique, cela dégagerait alors, le chirurgien du travail que l'on peut qualifier de "routinier" pour se consacrer uniquement aux phases critiques, nécessitant une connaissance experte.

Comme perspectives d'application pouvant mettre à profit ces avantages, on peut citer les opérations en ophtalmologie (Vitrectomie, kératotomie) et d'autres domaines chirurgicaux tels que la stéréotaxie et la chirurgie plastique dite "réparatrice".

Nous venons de citer quelques avantages qu'apporterait un télémanipulateur avancé en microchirurgie. Cependant le problème qui se pose dans de pareilles circonstances est: Comment répartir les différentes tâches, entre le chirurgien et le télémanipulateur avancé afin d'exploiter au mieux les possibilités de chacun?.

Ce problème particulier de la coopération Homme/Machine (H/M) ou plus exactement robotique en milieu hostile, a donné naissance à plusieurs travaux de recherches qui ont initialement porté sur l'étude des facteurs humains dans des domaines tels l'anthropométrie, les capacités sensorielles, et les relations perception/action. Par la suite, la théorie des systèmes a permis de considérer des modèles comportementalistes de l'opérateur caractérisés par des entrées, des sorties ainsi que des fonctions de transfert. Ces travaux ont mis en évidence un principe d'invariance des systèmes H/M décrivant une relative régularité de leurs performances, indépendamment des caractéristiques propres de la machine.

Ce principe, résultant de l'adaptation de l'homme à son environnement de travail, conclut à la nécessité d'une étude globale appréciant la part de l'homme dans la commande.

Le travail présenté dans ce mémoire entre dans le cadre du projet A.R.A. (Automatique et Robotique Avancée), qui de 1980 à 1986 a succédé au projet SPARTACUS (projet national de recherche rassemblant les efforts de plusieurs laboratoires français dans l'étude d'un télémanipulateur destiné à aider un handicapé tétraplégique dans sa vie quotidienne.).

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution actuelle des systèmes de télémanipulation est marquée par l'avènement de fonctions robotisées étendant les modes de couplage entre l'opérateur et le bras esclave commandé. L'homme se trouve alors inclus dans des boucles de contrôle et de surveillance à divers niveaux et un partage de tâches ou de fonctions doit être assuré via un système superviseur informatisé.

La mise en oeuvre d'une telle machine de téléopération avancée, suppose nécessairement une gestion souple et adaptative des interactions entre le ou les opérateurs et le calculateur assurant la supervision et l'enchaînement des modes de commande. Pour "optimiser" celles-ci, des méthodes d'aide à la décision multicritère interactives peuvent être appliquées. On obtient ainsi des modes qui seront dits "**coopératifs**".

L'intégration des informations d'origines multiples (graphique, textuelle, vocale, gestuelle) au sein des postes opérateurs, conduit à l'étude de modèles informationnels des opérateurs, de leur divers types de communications (codées ou formelles) de manière à les rendre plus fiables.

En s'appuyant sur de tels modèles, ce mémoire expose les principes sous-jacents au système SUPERWOMAN (SUPERvisory Workstation for MANipulators) dont une première version a été expérimentée dans le cadre de la manipulation canonique du projet A.R.A (Automatique et Robotique Avancée).

Dans une première partie, nous rappelons certains des modèles opérateurs existants et que nous avons jugés représentatifs des grandes orientations de ce travail, à savoir l'aspect cognitif qui constitue l'un des premiers problèmes auquel le modèle SUPERWOMAN tente de répondre.

Le deuxième chapitre, souligne certains problèmes posés par la coopération H/M en T.A.O. (Téléopération Assistée par Ordinateur), et montre l'intérêt de la supervision dans un tel système.

Le troisième chapitre, décrit les principales causes liées au transfert de l'information et comment le modèle SUPERWOMAN peut améliorer ce transfert.

Le quatrième chapitre, met l'accent sur les composantes du modèle SUPERWOMAN, à savoir les modes de dialogues en interaction et leurs impact sur la performance globale dans une tâche nécessitant une très haute précision.

Enfin, nous terminerons dans le cinquième chapitre, par la mise en oeuvre de SUPERWOMAN sur le site T.A.O. et la description des principales expérimentations réalisées.

CHAPITRE I

MODELES D'OPERATEUR HUMAIN: ETUDE ET SYNTHESE

I-1- INTRODUCTION

Cette partie présente un tour d'horizon des méthodes employées pour modéliser et simuler l'opérateur humain. Il existe à l'heure actuelle une grande variété de modèles d'opérateur humain dans la littérature. Ces modèles d'opérateur peuvent être répartis en deux catégories :

- les modèles normatifs,
- les modèles cognitifs [BOY 83].

Les premiers tirent leur nom du fait qu'ils sont associés à une norme : (celle de se comporter optimalement au sens de l'automatique) .

Les seconds modèles tirent leur nom du fait qu'ils tentent de reproduire les mécanismes de raisonnement et d'inférence; ils incitent donc à créer une syntaxe et une sémantique propres au problème à étudier.

Dans aucun des deux cas il ne sera possible de dire qu'un modèle est ou n'est pas bon . En effet, ils apportent tous une certaine contribution, mais dans un domaine de validité qu'il faudrait définir convenablement .

De façon générale, les modèles d'opérateur humain exigent également un modèle de leur environnement réel, afin de pouvoir être mis en oeuvre.

I-1- LES MODELES NORMATIFS

La structure du modèle n'est pas sensée représenter celle de l'opérateur même si certains de ses paramètres peuvent trouver une explication physique . La performance de l'opérateur est définie par une norme (valable pour un mode de fonctionnement donné du système homme-machine), qui est souvent une fonction de l'écart entre les buts fixés a priori et les buts atteints [TES 84] .

Parmi ces modèles, on peut citer :

- 1)- Le modèle quasi-linéaire,
- 2)- Les modèles de detection de panne,
- 3)- Le modèle de commande optimale.

I-1-1- MODELE QUASI-LINEAIRE [McR 57], [SHE 74]

L'opérateur humain est représenté par une fonction de transfert linéaire $Y(p)$ à laquelle est associé un résidu. Ce résidu a pour rôle de décrire la partie de la réponse humaine non capturée par l'approximation linéaire.

$$Y(p) = K \exp(-Tp) \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1} \cdot \frac{K \cdot \frac{a}{\theta}}{\left[\left(\frac{p}{W_n} \right)^2 + 2 \left(\frac{p}{W_n} \right) p + 1 \right] [T_n p + 1]}$$

où K représente un gain;

$\exp(-Tp)$ symbolise le retard de réaction à la lecture de l'information;

$T_1 p + 1$

----- décrit les caractéristiques d'égalisation;

$T_2 p + 1$

$K \cdot \frac{a}{\theta}$ représente le seuil d'indifférence de l'opérateur;

1

----- modélise le système
 $\left[\left(\frac{p}{W_n} \right)^2 + 2 \left(\frac{p}{W_n} \right) p + 1 \right] [T_n p + 1]$ neuro-musculaire

Un tel modèle a permis d'introduire le " Cross over model " [McR 65] basé sur la capacité de l'opérateur humain d'ajuster les paramètres de sa propre fonction de transfert, afin que sa réponse en boucle ouverte satisfasse les conditions de stabilité en boucle fermée avec une erreur raisonnable.

I - 1 - 2 - MODELES DE DETECTION DE PANNE [GAI 76]

Ce modèle est basé sur la théorie de l'estimation qui cherche à traiter l'incertitude. Il y a trois types d'incertitudes auxquels l'humain est confronté dans un système homme-machine :

- Incertitude sur les entrées,
- " sur les mesures,
- " sur les paramètres. (figure I-1)

De façon générale, deux types d'entrées doivent être considérées :

- Les commandes de l'opérateur
- les entrées de l'environnement. Ces entrées peuvent être déterministes ou aléatoires. [TES 84]

Donc l'incertitude sur les entrées provient du fait que l'opérateur ne connaît généralement pas ces dernières.

L'incertitude sur les mesures peut être causée par les limitations dues à la machine ou inhérentes au processus de perception humaine.

L'incertitude sur les paramètres réfère à la connaissance des caractéristiques du fonctionnement de la machine par l'opérateur (modèle interne).

L'opérateur est représenté comme un observateur idéal ; il traite de façon optimale les différentes incertitudes.

GAI et CURRY [GAI 76] ont ainsi développé un modèle humain pour la détection de pannes; celui-ci utilise un filtre de Kalman pour éliminer l'incertitude due au bruits de perception (figure I-2).

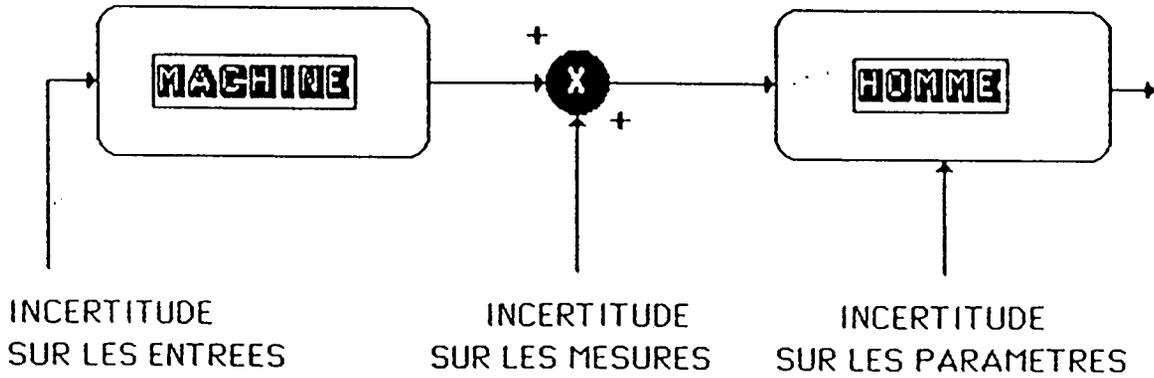


Figure I-1: Les incertitudes d'un système Homme-Machine

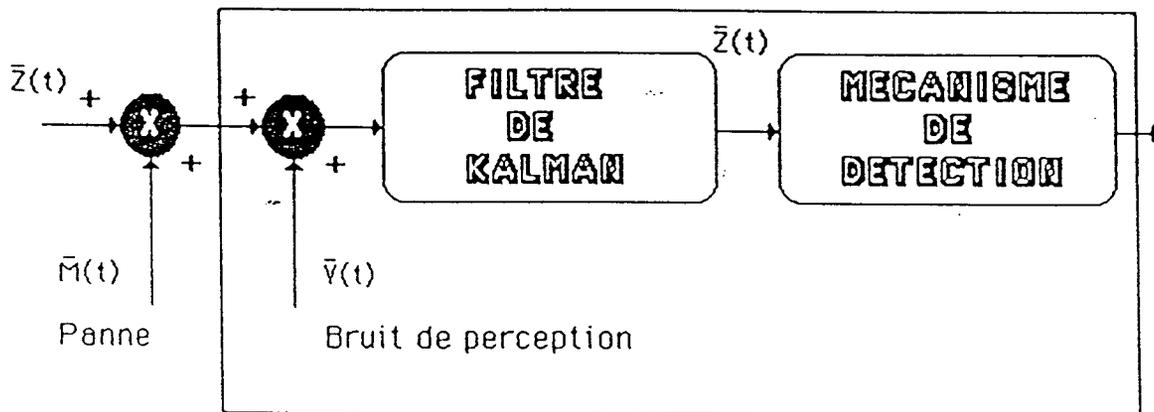


Figure I-2: Modèle humain de détection de panne d'après [GAI 76]

Le mécanisme de détection est basé sur l'analyse séquentielle du résidu du filtre de Kalman.

EXTENSION AUX INCERTITUDES SUR LES PARAMETRES

Dans plusieurs situations, l'homme doit prédire les états futurs de divers processus dynamiques. Pour éviter d'agir prématurément sur des variations aléatoires instantanées, toute observation humaine nécessitera un lissage. Certains auteurs ont développé des affichages prédictifs qui présentent à l'opérateur une prévision de l'état futur et ont trouvé qu'ils amélioraient la performance.

ROUSE dans [ROU 73, 76, 77] a montré que cette sous optimalité est due principalement à une connaissance incomplète de la dynamique du processus. L'opérateur humain utilise une "moyenne pondérée" des estimations fournies par deux modèles dynamiques du processus, basés sur les mémoires à court et long terme.

I-2-3- MODELE DE COMMANDE OPTIMALE

Les deux modèles précédents (modèle quasi-linéaire et le modèle de détection de panne) présentent une modélisation de l'aptitude que peut avoir l'opérateur lorsqu'il s'agit d'observer un processus dynamique et prédire ses états futurs.

Mais ici, dans le modèle de commande optimale, l'opérateur doit générer des commandes pour maintenir l'état du processus dans une fenêtre déterminée en minimisant un critère simple lié à la tâche. Cette situation est représentée dans la figure I-3.

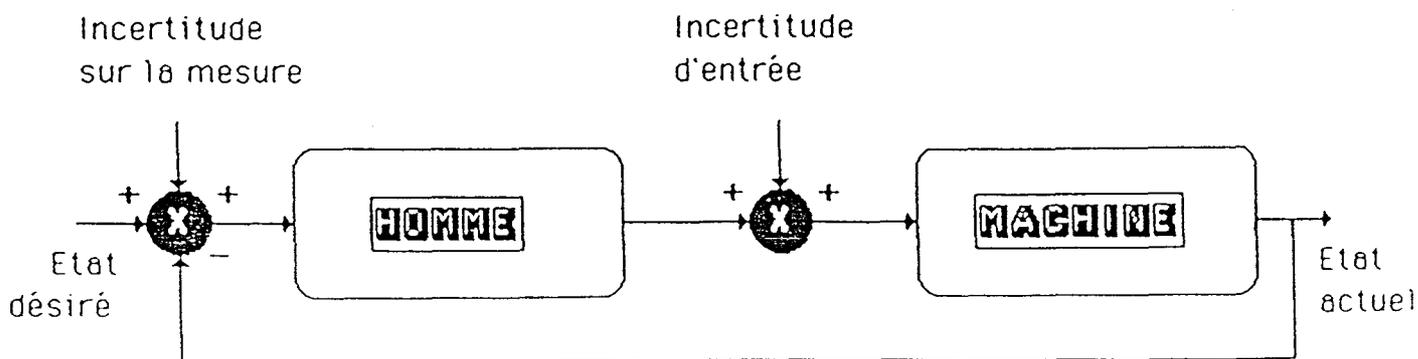


Figure I-3: Analogie du servomécanisme d'après [LEV 80]

Ce modèle repose sur l'idée de base qu'un opérateur, **motivé**, et **bien entraîné** est un contrôleur optimal, sujet à des limitations personnelles ([KLE 71], [LEV 80]).

Les limitations humaines sont:

- Les erreurs d'observation (modélisées par un bruit blanc);
- Le temps que met l'opérateur pour réagir à un stimulus (de l'ordre de 0,15 à 0,20 secondes au minimum). Ce temps est introduit dans le modèle comme un retard pur [TES 84];
- Des limitations psychologiques qui l'empêchent de produire parfaitement la commande (modélisées par un bruit blanc).

Les processus mentaux de l'opérateur sont constitués d'un filtre de Kalman pour la partie estimation optimale de l'état de la machine. L'opérateur est capable de compenser partiellement son temps de réaction. Cette aptitude est modélisée par un prédicteur. La commande est donc élaborée à partir de l'état estimé prédit (figure I-4).

La matrice d'observation ainsi que les bruits d'observation et les seuils du modèle ont été employés afin d'étudier des questions relatives à la conception de l'instrumentation et de son aménagement ([CUR 77], [BAR 77] et [JOH 80]).

EXTENTIONS

Nous pouvons citer deux modèles basés sur ce principe qui en étendent le domaine d'application :

1) Le modèle de Pattipati [PAT 79] qui introduit l'aléatoire dans la décision;

2) Le modèle de Muralidharan [MUR 79] qui modélise l'humain dans une tâche de supervision de plusieurs engins radio-commandés. Ce dernier est un essai de modélisation de la supervision multitâche.

Ces deux types d'extensions se retrouvent dans le cas d'une application en téléopération. Nous verrons dans le chapitre suivant comment il est possible d'envisager d'autres types de généralisation en se basant sur la théorie de l'information.

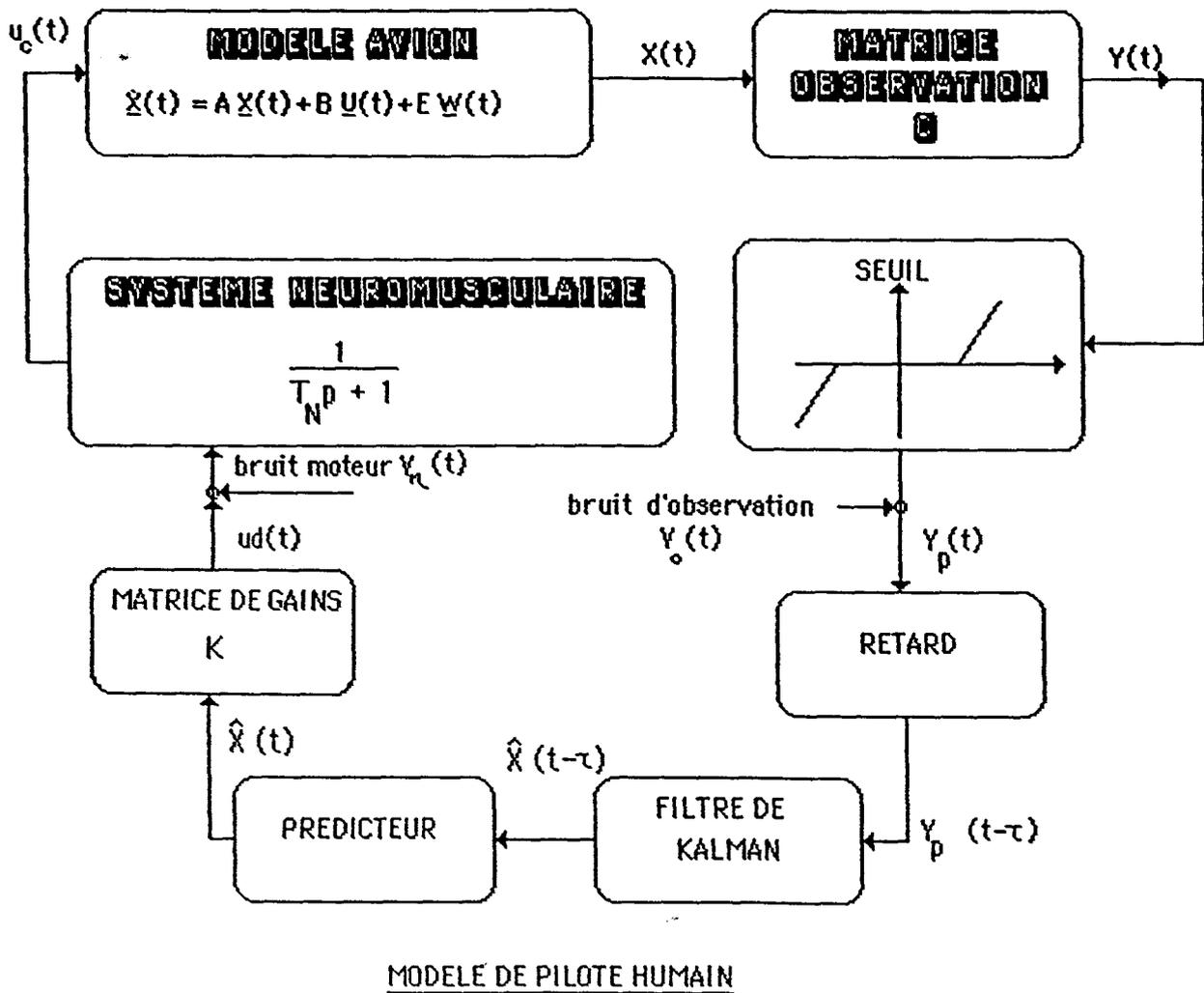


Figure I-4: Modèle de commande continue optimale d'après [KLE 71]

I-3-LES MODELES COGNITIFS

Ces modèles partent tous d'une analyse du comportement de l'opérateur humain dans l'exécution des tâches. C'est là leur première différence avec les modèles utilisant une norme provenant de l'automatique.

Parmi ces modèles qui s'appliquent en particulier au domaine de la téléopération on peut citer:

- 1)- Le modèle séquentiel a boucles multiples,
- 2)- Le modèle SAINT,
- 3)- Le modèle HOS,
- 4)- Le modèle PROCURU,
- 5)- Le modèle de RASMUSSEN,
- 6)- Le modèle KARL
- 7)- Le modèle SUPERMAN.

I-3-1-MODELE SEQUENTIEL A BOUCLES MULTIPLES

Ce modèle a été développé à l'ONERA par Soulatges et Cavalli [SOU 74, 76, 78, 79], [CAV 78]. Il repose sur la description du comportement faites par Wanner [WAN 76].

Wanner a décomposé les fonctions d'un pilote selon deux types de boucles (figure I-5) :

1)- **Boucles internes** : activées par le centre de décision (cerveau) pour recueillir des informations à l'aide de capteurs humains.

2)- **Boucles externes**: ce sont les boucles d'asservissement (effort, attitude ou sécurité immédiate et trajectoire) entre l'action sur une commande et son effet sur l'avion.

Il a également divisé la mémoire en trois parties:

1)-Mémoire à long terme (statique): bibliothèque d'actions, de règles de comportement face à des situations connues . . . etc,

2)-Mémoire à moyen terme: données propres à une situation ,

3)-Mémoire à court terme: stockage des données recueillies par les capteurs humains au cours du vol.

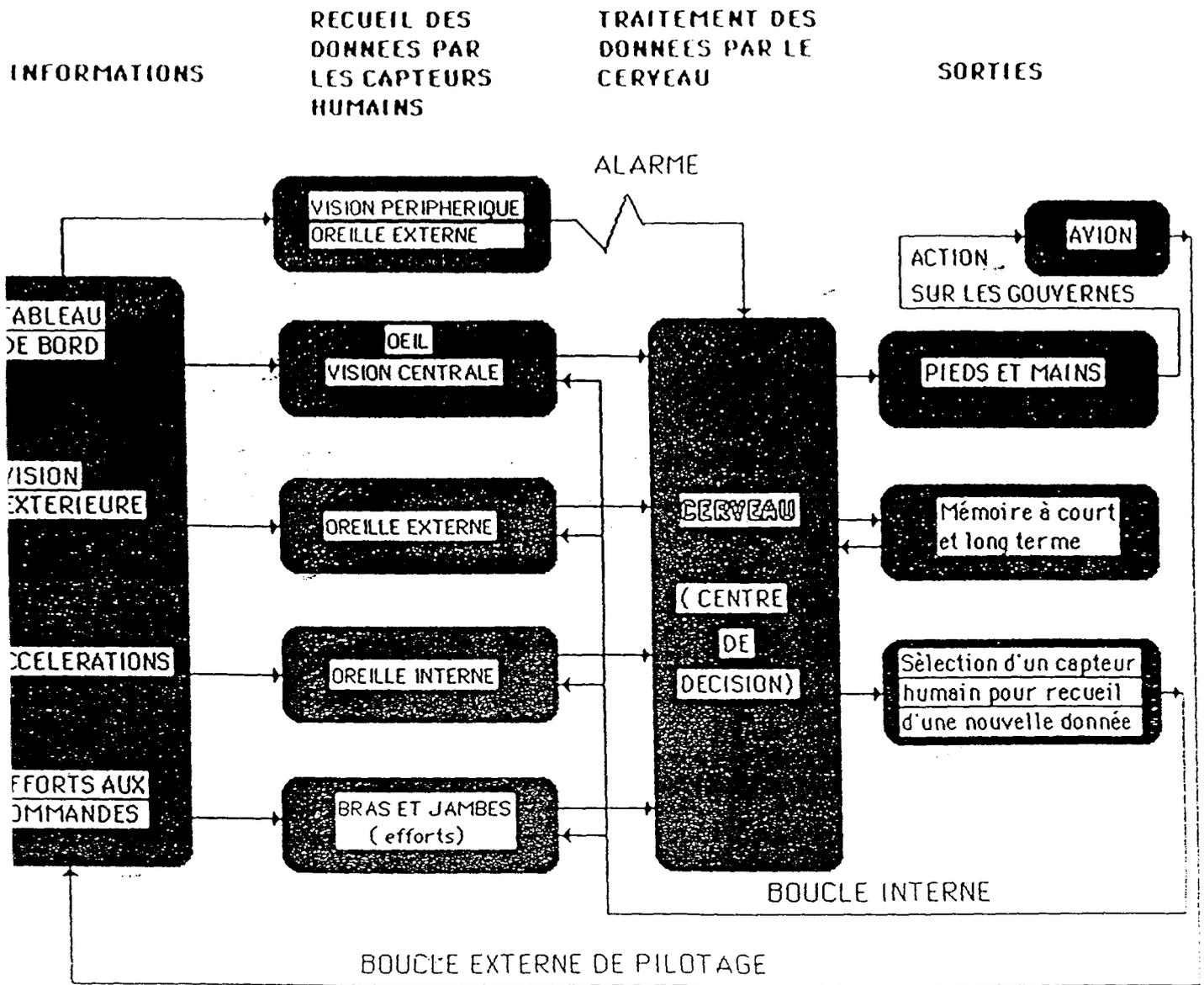


Figure I-5: Modèle multi-boucles du comportement humain d'après [WAN 76]

Cette décomposition à été reprise et détaillée par Stromboni dans [STR 83] pour la boucle de télémanipulation (Figure I-6).

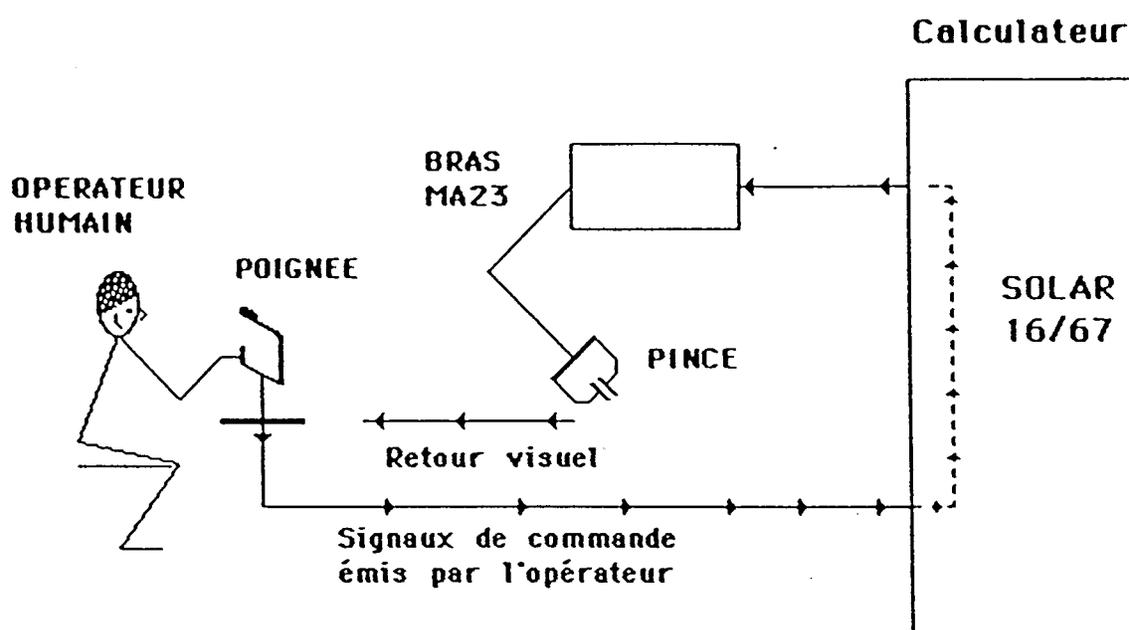


Figure I-6: Boucle de télémanipulation

Le retour informationnel est fait d'une façon directe (sans aucun support: écran, tableau de bord . . .), ce qui va permettre à l'opérateur de minimiser un coût subjectif de ses actions: c'est à dire, la manière dont il anticipe l'effet d'une action sur la poignée de commande. Cette anticipation du geste peut être acquise par apprentissage.

1-3-2- MODELE SAINT

Le modèle SAINT (Systems Analysis of Integrated Networks of Tasks) est un ensemble de sous-programmes informatiques, conçu pour aider à l'analyse des systèmes Homme-Machine complexes. Il permet d'évaluer l'impact des caractéristiques des composants d'un système sur la performance globale.

L'objectif de SAINT consiste à séparer la modélisation de l'analyse. Le système à analyser est modélisé sous forme d'un réseau. Ce dernier est construit à partir d'un alphabet de symboles; il permet la modélisation des ressources exécutant des tâches pour satisfaire les objectifs du système. Les éléments fondamentaux sont les suivants:

- Tâches;
- Ressources requises, équipement et matériel humain, à l'exécution d'une tâche;
- Relations entre tâches;
- Variables d'état (internes) du système.

La performance du système dépend des tâches exécutées, la façon dont elles le sont, et de la manière avec laquelle certains états sont atteints ou maintenus.

L'approche SAINT permet également de spécifier les conditions et contraintes auxquelles est soumis le système. Elles peuvent décrire des contraintes temporelles et/ou des conditions environnementales s'appliquant aux ressources qui exécutent les tâches; ainsi SAINT permet d'obtenir des mesures de performance pour des situations variées.

Ce modèle a été appliqué à l'étude d'un système composé d'un groupe d'opérateurs, dont la tâche est de monitorer et diriger le vol de plusieurs véhicules radio-commandés, à partir des données de trajectoires présentées sur des écrans cathodiques [WOR 78].

Ce modèle a orienté nos recherches vers l'étude d'un poste de travail conduit par deux opérateurs humains, l'un appelé "Opérateur de Gestion" et l'autre appelé "Opérateur d'Exécution".

L'action simultanée de deux opérateurs permet tout d'abord d'améliorer considérablement les temps d'exécution en autorisant le pilotage parallèle du manipulateur et des systèmes annexes tels que les dispositifs de vision, la régie vidéo ou le porteur.

Par ailleurs, si l'assistance apportée au niveau analogique diminue en règle générale la charge de travail physique de l'homme, il substitue néanmoins nombre de tâches dont la réalisation réclame un savoir-faire manuel et une forte concentration. A l'échelon symbolique, la supervision gagne ainsi à être menée par un opérateur dégagé autant que possible de toute participation physique à la commande et n'ayant à se préoccuper que de stratégie à plus long terme.

Dans ce contexte, une répartition du travail entre les deux opérateurs est donnée au chapitre V.

I-3-3- MODELE HOS: HUMAIN OPERATOR SIMULATOR

HOS est un programme général de simulation destiné à étudier la performance d'un opérateur humain dans l'accomplissement d'une mission bien définie [LAN 75] (Figure I-7).

Le modèle de l'opérateur est figé; il est représenté par des micro-modèles:

1)-perception de l'information: changement de l'état des connaissances que l'opérateur a du système et de l'environnement;

2)-mémorisation de l'information: stockage d'une information en mémoire à court terme de façon aléatoire, suivant son temps de mémorisation et son mode de perception;

3)-calcul mental: agrégation des informations absorbées suivant un temps et un coût spécifiés;

4)-décision: sélection d'une procédure;

5)-anatomie du mouvement et manipulation: dynamique des actuateurs humains.

Le modèle du système ainsi que les éléments du scénario sont programmés dans un langage spécial: HOPROC (Human Operator PROCedures).

M. Waller travaille actuellement sur ce modèle pour améliorer la correspondance des résultats simulés et expérimentaux [BOY 82].

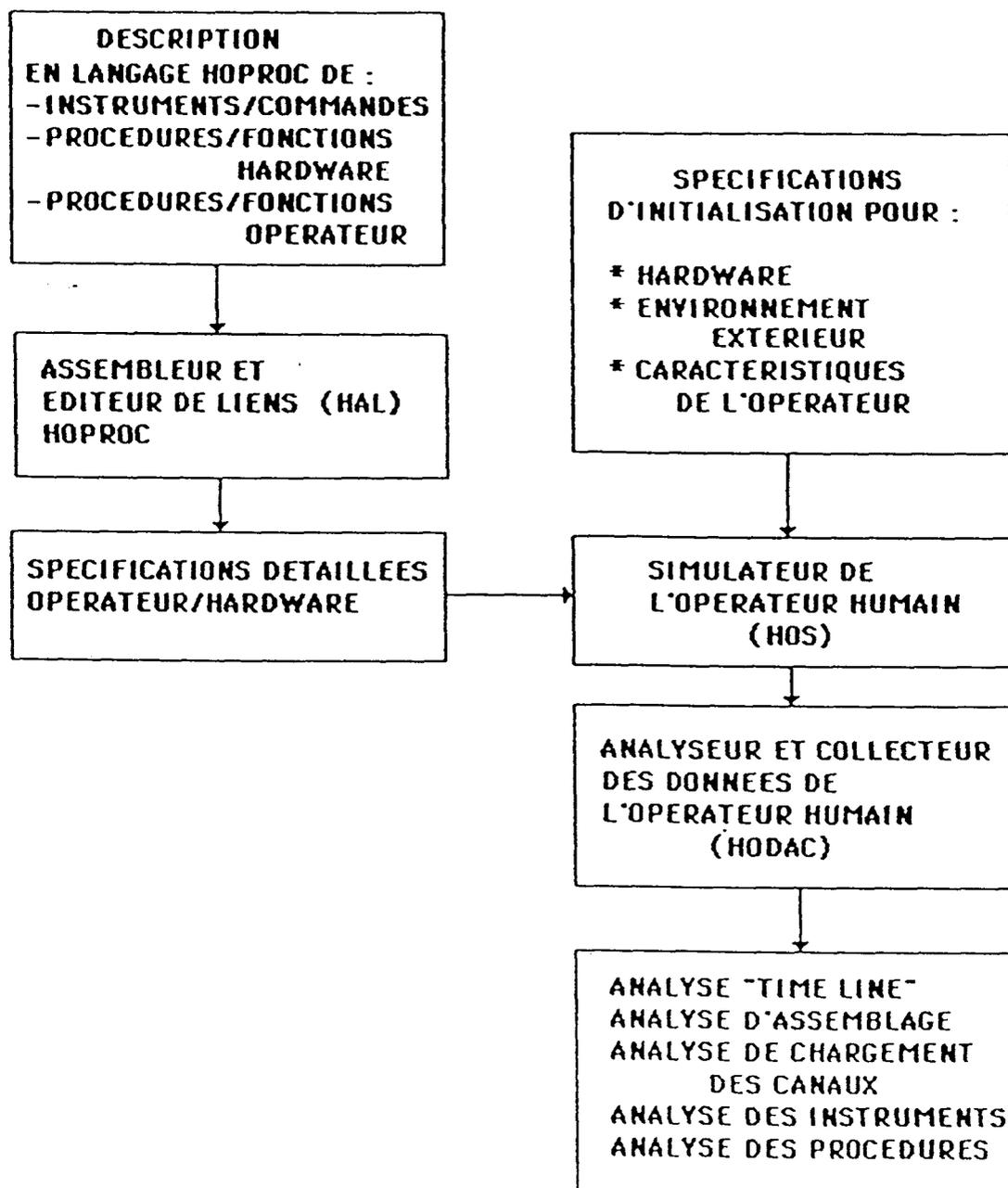


Figure I-7: Organigramme fonctionnel du système HOS

I-3-4- MODELE PROCRU [BAR 80a]

Le modèle PROCRU (Procedure Oriented Crew model's) à été développé pour analyser les fonctions et responsabilités des pilotes, en fonction des procédures d'approche, d'un avion de transport commercial, en mode de pilotage aux instruments ILS (Instrument Landing System).

Ce modèle utilise la structure de traitement de l'information du modèle de contrôle optimal et des modèles de monitoring et de détection de pannes [GAI 76] (Figure I-8).

Trois sources d'informations sont utilisées dans ce modèle:

- 1)- la vision externe (scène)*
- 2)-la vision interne (instruments)*
- 3)-l'ouïe: un buffer est utilisé pour simuler le rangement en mémoire jusqu'à ce que l'information puisse être traitée.*

Le but de PROCRU est de développer un modèle servant à explorer systématiquement les impacts des procédures, équipements et allocation des ressources dans le cockpit, sur la performance et la sécurité en approche [BAR 80b]. Ceci nécessite de considérer un domaine relativement étendu du comportement humain et de ses activités, aussi bien cognitives que proprioceptives (perceptives et moteurs).

REMARQUE: *Il n'y a pas eu de validation du modèle entier ou de toutes ses parties, mais certaines l'ont été expérimentalement.*

Quelques aspects importants du comportement humain (diagnostic, erreurs dans l'exécution d'actions discrètes, effet de stress ou de pression sociales. . . etc) ne sont pas modélisés, sauf par hypothèse directe.

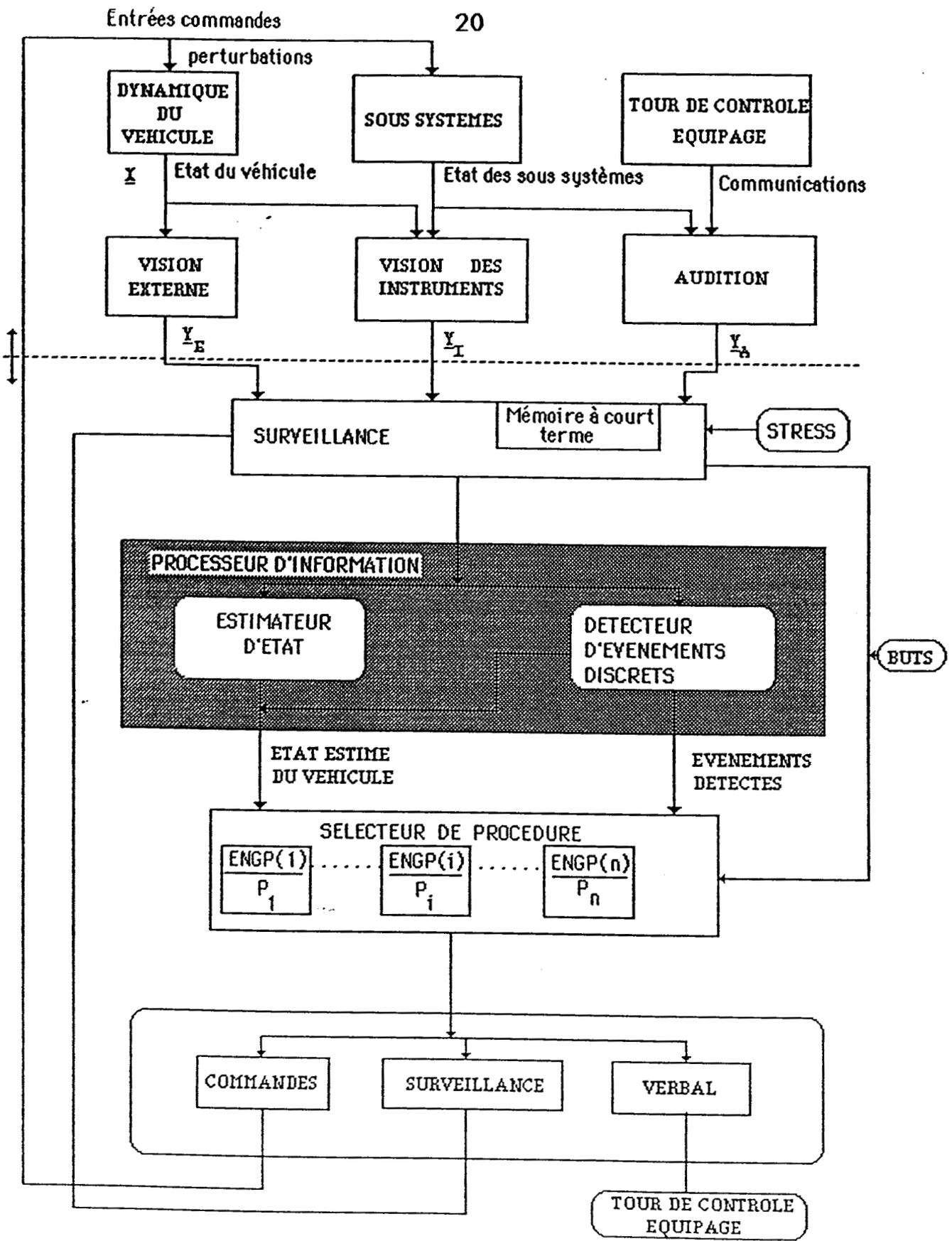


Figure I-8: Structure de base du modèle de pilote dans PROCURU

I-3-5- MODELE DE RASMUSSEN [RAS 80]

Ce modèle décrit les différentes étapes du processus de décision d'un opérateur; la figure I-9 illustre les étapes typiques du comportement humain dans la résolution de problèmes.

Le comportement de l'opérateur dépend de son **expérience**, de sa **connaissance** de la situation, et de son **aptitude** à s'adapter à des situations nouvelles.

De façon générale, la détection d'une alarme ou d'un état anormal déclenche une recherche d'information, l'opérateur observera alors ses instruments. L'ensemble de ses observations lui permettra d'identifier la partie de l'état nécessaire à la correction de l'alarme. Il procèdera ensuite à une évaluation de la situation et définira une stratégie générale de correction: elle sera décomposée en procédures et tâches, puis appliquée.

La principale caractéristique de ce modèle est que selon la complexité de la situation à traiter et de l'expérience de l'opérateur, certaines étapes du raisonnement peuvent être sautées. Ainsi, si l'opérateur est expérimenté, il peut appliquer une procédure correctrice dès que l'état du système est reconnu.

I-3-6- MODELE KARL

Le modèle KARL (Knowledgeable Application of Rule-based Logic) a été développé par Knaeuper [KNA 83] au Georgia Institute of Technology, sous la direction de W. B. Rouse.

KARL est un modèle général adapté (grâce à sa structure) à un environnement dynamique. Comme son nom l'indique, c'est un système informatique pourvu d'une base de connaissances constituée de règles de production et de structure de contrôle pour y accéder.

Le modèle suppose quatre types de tâches assignées à l'opérateur:

- 1)-les tâches de transition (décollage, atterrissage. . .);
- 2)-réglage du régime permanent;
- 3)-détection et diagnostic des pannes;
- 4)-compensation des défaillances.

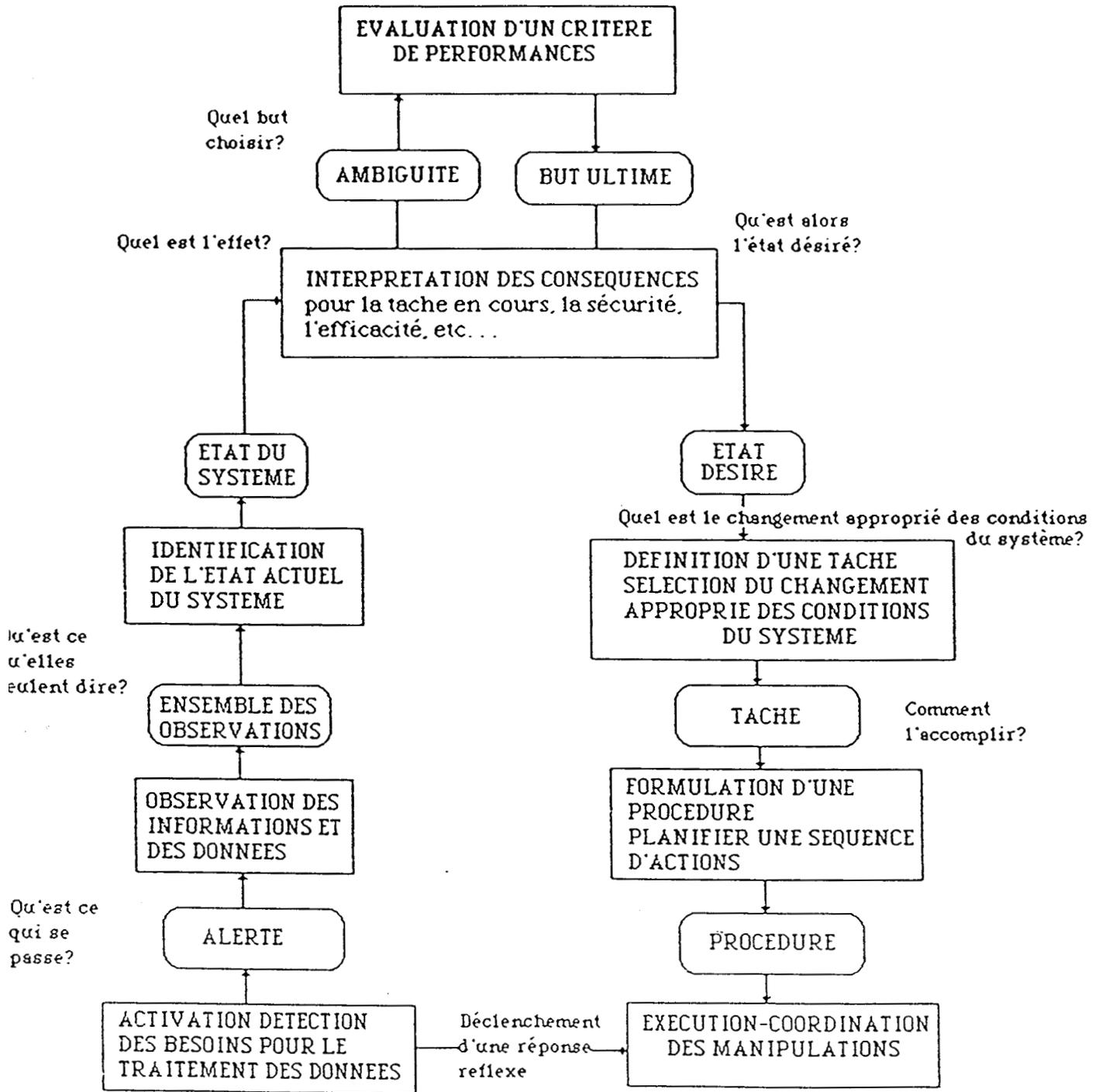


Figure I-9: Le modèle de RASMUSSEN

Pour mener à bien ces tâches l'opérateur doit savoir:

- i*-comment évolue le processus sans son intervention;
- ii*-l'effet des commandes;
- iii*-la tâche couramment pertinente.

Chaque tâche est partagée en trois niveaux de résolution de problème [ROU 82]:

1 - RECONNAISSANCE ET CLASSIFICATION: détection d'une situation ;

- a) essai de correspondance entre l'état observé et un "Frame" approprié [MIN 75]
- b) sinon, classification structurelle et résolution par analogie.

2-PLANIFICATION: choix d'une séquence d'actions;

- a) familière: "Script" [SCK 77] ou procédure standard à appliquer;
- b) sinon, génération des alternatives et évaluation des conséquences imaginées.

3-EXECUTION.

APPLICATION

Les performances et comportements prévus par le programme ont été comparés aux comportements observés d'opérateurs d'une usine de transformation (elle aussi simulée). Le modèle duplique très bien la performance globale des opérateurs mais la correspondance des séquences d'actions simulées et réelles n'est pas toujours assurée.

I-3-7-LE MODELE SUPERMAN

SUPERMAN est une machine de T.A.O. conçue et développée par l'équipe de Thomas Sheridan du M.I.T.

Une description détaillée de ce système expérimental essentiellement destiné à l'étude de la commande supervisée dans le cadre d'applications sous-marines, est donnée dans [BRO 79].

L'originalité de l'approche SUPERMAN réside dans l'intégration des conduites manuelles et automatiques au sein d'une machine qui propose différents modes de commande téléopérés, ainsi que les outils logiciels permettant de programmer, puis d'exécuter des tâches simples sous la surveillance de l'opérateur.

L'interface H/M se compose de :

- Un bras maître à retour d'effort;
- un joystick à trois degrés de liberté;
- un clavier ASCII associé à un écran alphanumérique et graphique;
- une interface DASI(Dedicated Analogic-Symbolic Interface), munie de boutons et potentiomètres.

Le dialogue Homme/Calculateur est construit sur un langage de commande classique qui autorise la création puis l'exécution de fichiers tâche, ainsi que la mise en oeuvre de modes de téléopération.

En cours de fonctionnement, la machine passe par les états suivants:

- STANDBY : conduite manuelle;
- DEFINE : programmation et apprentissage;
- EDIT : édition;
- EXECUTE : exécution automatique;
- TAKEOVER : reprise en mode manuel;
- STOP.

APPLICATION

Les expérimentations menées avec SUPERMAN n'ont pas mis en évidence de nets avantages vis-à-vis d'une tâche entièrement réalisée en commande maître/esclave à retour d'effort. Néanmoins en regard des autres modes manuels, l'approche supervisée améliore nettement les performances du système, en particulier lorsque la vision est dégradée ou la tâche est complexe.

I-4 CONCLUSION

De cette revue, non exhaustive, mais significative concernant les différents types de modèle, il faut retenir deux points:

D'une part l'intérêt s'est tout d'abord porté sur l'approche " **Fonction de transfert** " pour modéliser le système de suivi d'un paramètre [McR 65]. Cette approche relativement élémentaire a connu ses succès, mais reste très réductionniste du point de vue comportement de l'opérateur humain. Cette approche s'est par la suite étendue pour le problème multidimensionnel (plusieurs paramètres sont surveillés et actionnés simultanément [BAR 77]. Elle repose sur les résultats du contrôle optimal (type filtre de Kalman).

Le principal reproche que l'on puisse faire à cette approche, est son comportement " toujours optimal " au sens d'un certain critère quadratique : aucun comportement heuristique ne peut être envisagé dans un tel type de modèle. Toute fois en général le comportement de surveillance des cadrans, du tableau de bord central, est identifiable avec une telle approche.

D'autre part l'automatisation et l'informatisation des salles de contrôle ont généré de nouvelles études beaucoup plus larges, prenant en compte la globalité du transfert de l'information (HOS et PROCRU en sont des exemples), car la fiabilité d'un système Homme/Machine dépend essentiellement du transfert de l'information. Ce transfert est perturbé par non seulement les facteurs systèmes (indisponibilité de l'information, information dégradée, et/ou ambiguë, . . .), mais également par les facteurs humains (distraction, oubli, erreur de surveillance, fatigue, . . .). A l'heure actuelle, la prise en compte de l'opérateur dans la conception d'un tel système, se fait le plus souvent de façon empirique. Lorsque se n'est pas le cas, les données utilisées issues de la psychologie expérimentale sont considérées comme trop fragmentaires pour être utilisées telles quelles.

Devant ces critiques, il semble que la seule voie possible de l'étude d'un tel système Homme/Machine, soit une approche multidisciplinaire, incluant à la fois des règles tirées des modèles normatifs, et, des règles tirées des modèles cognitifs; de manière à effectuer le recollement des modèles partiels de l'opérateur, sous la forme d'une suite de règle de conception assistée par ordinateur d'un poste de commande.

L'utilisation des techniques d'intelligence artificielle, rend cette approche plus souple. Cela permet en particulier:

1°)- D'adapter un modèle général à une situation particulière,

2°)- d'être explicatif: on peut ainsi détailler la démarche qui conduit à la conception de tel ou tel poste opérateur.

Il faut toutefois noter qu'actuellement seule une utilisation " off line " est envisagée. Ceci est dû à deux raisons principales:

a)-Le caractère figé de la plupart des postes opérateurs actuels.

b)-La complexité du modèle général obtenu.

L'évolution des moyens de communication Homme/Machine remet en cause le caractère figé de la plupart des postes opérateurs actuels (utilisation des écrans informatiques, comme dans le cas de l'Airbus A310, par exemple). Il nous est donc apparu intéressant, d'isoler un paquet de règles qui pourraient être utilisées pour la configuration " **dynamique** " (en ligne) du poste opérateur .

On arrive ainsi aux notions de stations de travail adaptatives et de modes de dialogue évolutifs. C'est ce dernier aspect que nous abordons dans les chapitres ultérieurs.

CHAPITRE II
COOPERATION HOMME/MACHINE
ET TELEOPERATION

II-1-INTRODUCTION

L'étude de la coopération Homme/Machine aspect particulier de la robotique en milieu hostile, entre dans le cadre le plus général des systèmes H/M, c'est à dire des systèmes où l'homme et la machine interagissent étroitement.

D'un point de vue historique, l'origine de cette discipline remonte à la seconde guerre mondiale, et depuis elle a connu plusieurs évolutions.

Plus récemment, l'utilisation des calculateurs a permis:

1- L'étude du comportement opérateur dans des situations extrêmes;

2- de dégager l'homme d'un certain nombre de travaux fastidieux et répétitifs;

3- de concevoir des systèmes où Homme et Machine coopèrent pour des prises de décisions nécessitant certaines capacités de raisonnement.

Ce dernier point, lié aux techniques d'intelligence artificielle, a orienté les chercheurs dans l'étude de modèles cognitifs des opérateurs humains, l'approche comportementaliste s'avérant impuissante à guider les concepteurs de systèmes d'aide à la décision.

Parmi les tendances qui s'affirment aujourd'hui dans le domaine des systèmes H/M, trois grandes directions se révèlent directement en rapport avec les problèmes de téléopération:

- (1)-Eloignement de l'opérateur relativement à la tâche;
- (2)-Analyse des modèles opérateurs;
- (3)-Développement de l'intelligence des machines.

1- ELOIGNEMENT DE L'OPERATEUR RELATIVEMENT A LA TACHE

Cette évolution présente deux aspects complémentaires: il s'agit d'une part, de la commande à distance de machines complexes; d'autre part, de l'intervention de plus en plus courante de l'opérateur, dans des boucles de commande de haut niveau, l'interprétation et l'exécution des ordres étant alors réalisées par ordinateur. De la sorte le rôle de l'homme tend à se ramener à celui d'un homme superviseur [SHE 84] : il fixe les conditions initiales et contrôle le bon déroulement de la tâche exécutée automatiquement.

D'une manière générale, le travail de l'opérateur de supervision consiste en:

- planification de la tâche;
- programmation ou apprentissage;
- contrôle de l'exécution automatique;
- intervention en cas de problème;
- amélioration de sa propre expérience.

A ce niveau l'homme peut être assisté par un ordinateur qualifié de machine de supervision [SHE 76], par opposition à la machine d'exécution. Un tel système informatique doit posséder:

- une base de connaissance adaptée à la tâche;
- une capacité à simuler des stratégies alternatives de commande;
- un moyen de détection (ou anticipation) de panne;
- une mémorisation et traitement du retour d'information;
- une interface opérateur soignée.

2- ANALYSE DES MODELES OPERATEURS

Le problème consiste à étudier la façon dont un opérateur humain se définit un modèle mental d'une tâche à réaliser.

Ce type d'étude présente un intérêt évident dans la configuration des postes de commande [SMI 81], relativement au choix des organes de pilotage et de restitution, ainsi qu'à leur disposition spatiale. L'approche envisagée ici se généralise au travers du concept de "Téléprésence" qui tend à permettre à l'homme de travailler de manière naturelle, en symbiose avec l'univers de la tâche, comme s'il intervenait directement dans le milieu hostile.

Le concept de la téléprésence comprend:

- La restitution kinesthésique des informations de position et d'effort;

- la disposition de caméras de façon à ce que les mouvements de l'esclave soient perçus par l'opérateur avec des orientations identiques aux mouvements correspondants du maître;

- le recours à la vision stéréoscopique;

- l'utilisation d'une caméra (dans l'univers esclave) disposant d'un champ de vision en relation avec celui de l'homme dans l'univers maître (ex: commande céphalique liant l'orientation de la caméra aux déplacements de la tête de l'opérateur).

Par ailleurs, les connaissances obtenues dans le cadre d'un système d'aide à la décision, permettent d'assurer une plus grande convivialité au cours des échanges Homme/Calculateur [HAY 81].

3- DEVELOPPEMENT DE " L'INTELLIGENCE " DES MACHINES

Sans entrer dans le détail des problèmes d'intelligence artificielle, deux approches opposées sont à priori envisageables dans la conception d'un système d'aide à la décision:

- Pour des tâches assez bien modélisées, la machine est parfois capable de prendre entièrement la responsabilité du raisonnement, en ayant éventuellement recours à l'opérateur pour obtenir certaines informations manquantes;

- face à des situations difficilement planifiables, une autre possibilité consiste à faire exécuter par la machine un "filtrage" des informations, poussant ainsi l'opérateur vers une solution plus ou moins précise.

Il apparaît de la sorte que l'évolution vers des systèmes H/M "intelligents" (dotés de différents capteurs et de fonctions d'assistance), contribue à une diminution de la charge de travail physique de l'opérateur allant de pair avec une augmentation de sa charge mentale, d'où l'intérêt des techniques d'intelligence artificielle [NOR 82]. A ce propos, nous pourrions citer l'exemple du percage multiple (manipulation réalisée au C.E.A. lors du projet A.R.A.), où les fonctions d'assistance étaient le blocage des degrés de liberté (n'autorisant que celui qui est perpendiculaire au mur à percer) et la suppression de poids. Ces fonctions permettaient à l'opérateur d'exécuter la tâche avec aisance, d'où une diminution de la charge physique de l'opérateur, poussant celui-ci à fournir un effort mental supplémentaire pour se rendre compte de la fin de l'exécution de la tâche.

II-2- LA COMMUNICATION HOMME/MACHINE EN T.A.O

Pour piloter un télémanipulateur, l'opérateur humain génère des ordres à destination de la machine et reçoit en retour des messages sensoriels ou des comptes-rendus d'exécution.

Selon les capacités du système de commande, les ordres émis par l'opérateur seront plus ou moins évolués. En ce qui concerne les échanges H/M en téléopération, deux niveaux de communication peuvent être distingués selon que l'homme intervient physiquement dans la génération de trajectoires ou qu'il dialogue avec un ordinateur dans le cadre d'un travail de supervision.

II-2-1- L'homme participe à la génération de trajectoires

A ce niveau, on peut qualifier les commandes et les retours de directs ou de codés selon qu'ils imposent ou non un réel travail d'interprétation. Parmi les organes de communication utilisables pour le pilotage manuel, on trouve en premier lieu le bras maître qui permet une commande ainsi que des retours directs, lors du fonctionnement bilatéral avec restitution des efforts dans la main de l'opérateur [VER 81]. Cette commande et ces retours sont codés dans le cas d'un asservissement en vitesse, les efforts pouvant alors être visualisés sur un écran. D'autres canaux de communication sont envisageables en téléopération (aide aux handicapés) tels les mouvements de la tête (commande céphalique souvent associée au pilotage des caméras), des épaules, du menton, signaux myo-électriques, buccaux, mouvements des yeux, ... etc. [GAL 86].

II-2- 2- Commande en supervision

A côté des moyens classiques d'entrée/sortie des ordinateurs (clavier et console de visualisation), prennent place les dispositifs de commande vocale auxquels on peut faire correspondre les retours sonores et la synthèse de la parole [GUE 88]. L'avantage principal de ces systèmes réside dans leur facilité d'utilisation, leur rapidité dans les échanges et surtout dans la liberté de mouvement qu'ils permettent aux opérateurs. Parallèlement, les problèmes posés sont considérables: la reconnaissance vocale suppose, en effet, des traitements complexes (acoustiques et éventuellement contextuels, selon que l'on procède à la détection de mots isolés ou de phrases complètes); son intérêt ne peut apparaître pleinement que si elle

permet une utilisation multilocuteurs, en temps réel et avec un taux de réussite acceptable.

D'une manière générale, la conception des interfaces opérateurs évolue rapidement. Le développement des nouveaux moyens de dialogue tels que les systèmes de pointage (Souris ou Lightpen) associé à la haute définition des consoles de visualisation, débouche sur une communication Homme/Machine fondée sur l'utilisation intensive du graphisme. Dans ce cadre, le lancement d'une action résulte de la désignation par l'opérateur d'un élément dans un menu ou d'un symbole (Icône) dessiné sur l'écran devenu ainsi un véritable tableau de bord.

Inversement, les informations à restituer vers l'opérateur sont affichées sur plusieurs fenêtres, superposables, permettant la visualisation parallèle ou non des différents retours de natures variées.

La relative complexité de la gestion d'un tel poste opérateur oblige à considérer un module d'interface, relativement indépendant du programme principal, mettant en rapport les ressources du système (menus, icône, fenêtres, clavier, commande vocale, ... etc.) et les actions à lancer qui concernent la commande proprement dite du processus ou simplement la configuration de l'interface.

II-3- CONDUITE DU DIALOGUE

En rapport avec le travail de supervision, le dialogue peut prendre un certain nombre de formes, plus ou moins structurées:

- Dialogue avec invitation, où l'opérateur répond à un questionnaire dirigé par programme (structure figée);

- dialogue du type formulaire à compléter, où l'opérateur communique avec la machine par le remplissage d'une série de champs comprenant, par défaut, un contenu défini à priori ou dynamiquement;

- dialogue par menu;

- langage de commande, dont les instructions font référence à des commandes fonctionnelles.

Ceci étant et en correspondance avec le degré de structuration des échanges, plusieurs modes de conduite du dialogue sont possibles:

1)- Les systèmes à guide opérateur, pour lesquels l'homme n'est qu'une ressource parmi d'autres, mise à contribution par sollicitation de la machine;

2)- Les systèmes à opérateur maître, fondés sur un interpréteur qui exécute une vérification syntaxique des ordres, mais pas de leur cohérence vis à vis de la tâche. Signalons dans ce domaine, les interfaces avec pré-éditeurs (Form Filling) qui assistent l'opérateur, souvent handicapé, dans un dialogue par ailleurs peu contraignant;

3)- Les systèmes "équilibrés", qui sont essentiellement des systèmes à guide opérateur, mais où l'homme peut décider de redevenir maître, en fonctionnement dégradé, par exemple.

Remarquons qu'une certaine souplesse dans la structuration du dialogue, peut s'avérer utile: des échanges fortement structurés convenant bien à un opérateur débutant, alors qu'un opérateur expérimenté s'accommodera mieux d'une plus grande liberté.

II-4- PARTAGE DE TACHES

Quel que soit le système Homme/Machine considéré, la conception de l'interface opérateur dépend directement du partage du travail entre l'homme et la machine.

Pendant longtemps, le principe adopté fut exclusivement celui de l'allocation statique des tâches, c'est à dire, que le partage du travail reposait sur des critères fixés a priori. Il s'agissait d'exploiter les capacités caractéristiques de l'homme et de la machine: typiquement, l'opérateur désigne les buts et planifie les actions pour les atteindre, alors que l'ordinateur traite l'information, améliorant la planification et permettant l'évaluation de la progression vers le but [LIC 60]. A l'heure actuelle, cette dichotomie ne s'impose plus, en particulier si l'on désire profiter des capacités décisionnelles de la machine.

Pour réaliser ce partage, plusieurs approches peuvent être utilisées citons:

1-L'approche expérimentale

Cette méthode consiste à faire réaliser successivement une même tâche par deux exécuteurs différents Homme et Machine.

Cette approche est souvent associée à une synthèse empirique de tâches. Cependant elle offre l'inconvénient de rester à un stade expérimental, et de ne pas aboutir à un système intégré représentatif. Par contre elle permet de distinguer très rapidement les moyens techniques à mettre en oeuvre pour améliorer la communication Homme/Machine dans le cadre des tâches spécifiées [BE] 80]

2-L'approche systémique[DUB 84]

Cette approche consiste à réaliser une modélisation aussi précise que possible du système Homme/Machine, en s'appuyant sur les résultats expérimentaux d'une part, et, des moyens informatiques d'autre part.

Les systèmes experts ainsi réalisés peuvent permettre d'analyser le dialogue Homme/Machine dans le cadre d'une tâche spécifiée.

Cette approche présente l'inconvénient de ne pas se placer au niveau technique, mais permet par contre de formaliser les interactions au niveau stratégique, ce qui est totalement nouveau par rapport aux études précédentes.

3-Comparaison des deux approches

Dans l'approche expérimentale, la tâche effective est d'abord réalisée par l'opérateur; les dispositifs matériels et le calculateur sont introduits progressivement pour l'assister lorsque des contraintes d'environnement et d'interface sont ajoutées. Ce qui mène au concept "**Téléopération Assistée**" (Fig. II-1a).

Dans l'approche systémique, le composite Opérateur/Calculateur/Tâche est étudié globalement de façon à être adaptatif vis-à-vis des contraintes. Ce qui mène au concept "**Supervision**" (Fig. II-1b).

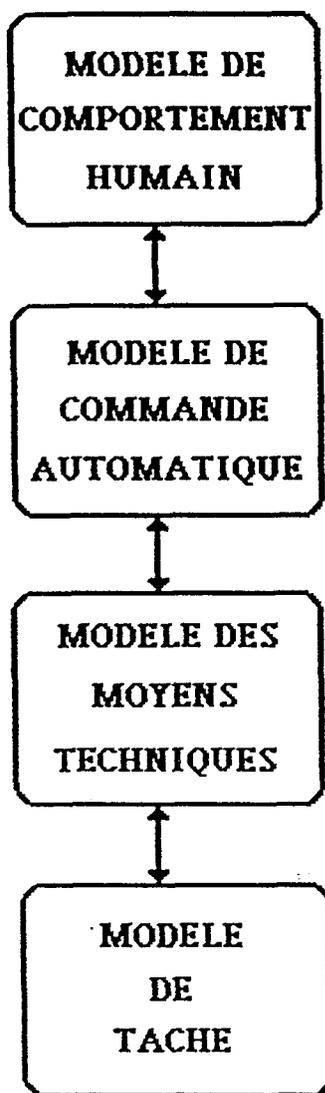


Figure II-1b : Approche Systemique
(Concept de Supervision)

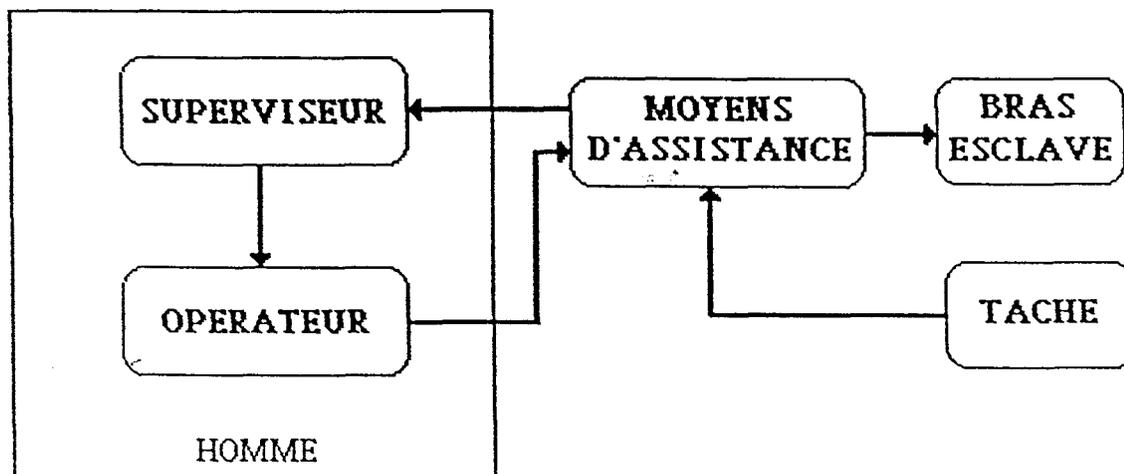


Figure II-1a : Approche expérimentale
(Concept Téléopération Assistée)

Les deux approches sont complémentaires et nécessaires. Elles ne supposent pas exploiter de la même façon les capacités respectives de l'homme et de la machine. Ainsi:

-Dans la Téléopération Assistée [HEE 79]

Le rôle de l'homme est de remplir les tâches de planification, de surveillance et d'intervention. Le calculateur effectuera les tâches de commande et d'observation.

-Dans la Supervision [SHE 78]

L'homme et le calculateur, partagent les capacités effectives et mentales. Les rôles de l'homme restent les mêmes, mais ils sont relayés par le calculateur, qui est chargé de l'assister; cependant si l'homme préfère garder le contrôle, le calculateur doit être en mesure de le relayer.

Malvache dans [MAL-MIL 87], montre que la structure de contrôle et de surveillance d'un procédé piloté selon une répartition dynamique des tâches entre l'opérateur et le calculateur peut être décomposée en trois niveaux, Fig. II-2:

- Niveau procédé,
- niveau commande et régulation,
- niveau décisionnel, qui gère la coopération
Homme/Calculateur.

Le répartiteur de tâches va alors nécessiter une estimation de la performance du procédé et de la charge de travail humaine, afin d'effectuer dynamiquement le partage des différentes tâches, entre l'homme et l'étage décisionnel du calculateur.

Une méthode de répartition basée sur la théorie de commande optimale a été développée au laboratoire d'automatique industrielle et humaine de Valenciennes et est détaillée dans [MIL 87].

Le principe de cette méthode est inspiré du modèle théorique de répartition des tâches entre décideurs humains hiérarchisés de Levis et Boettcher [LEV 82], et vise à rechercher en dynamique une répartition optimisant les performances du système global tout en tenant compte de la charge de travail humaine.

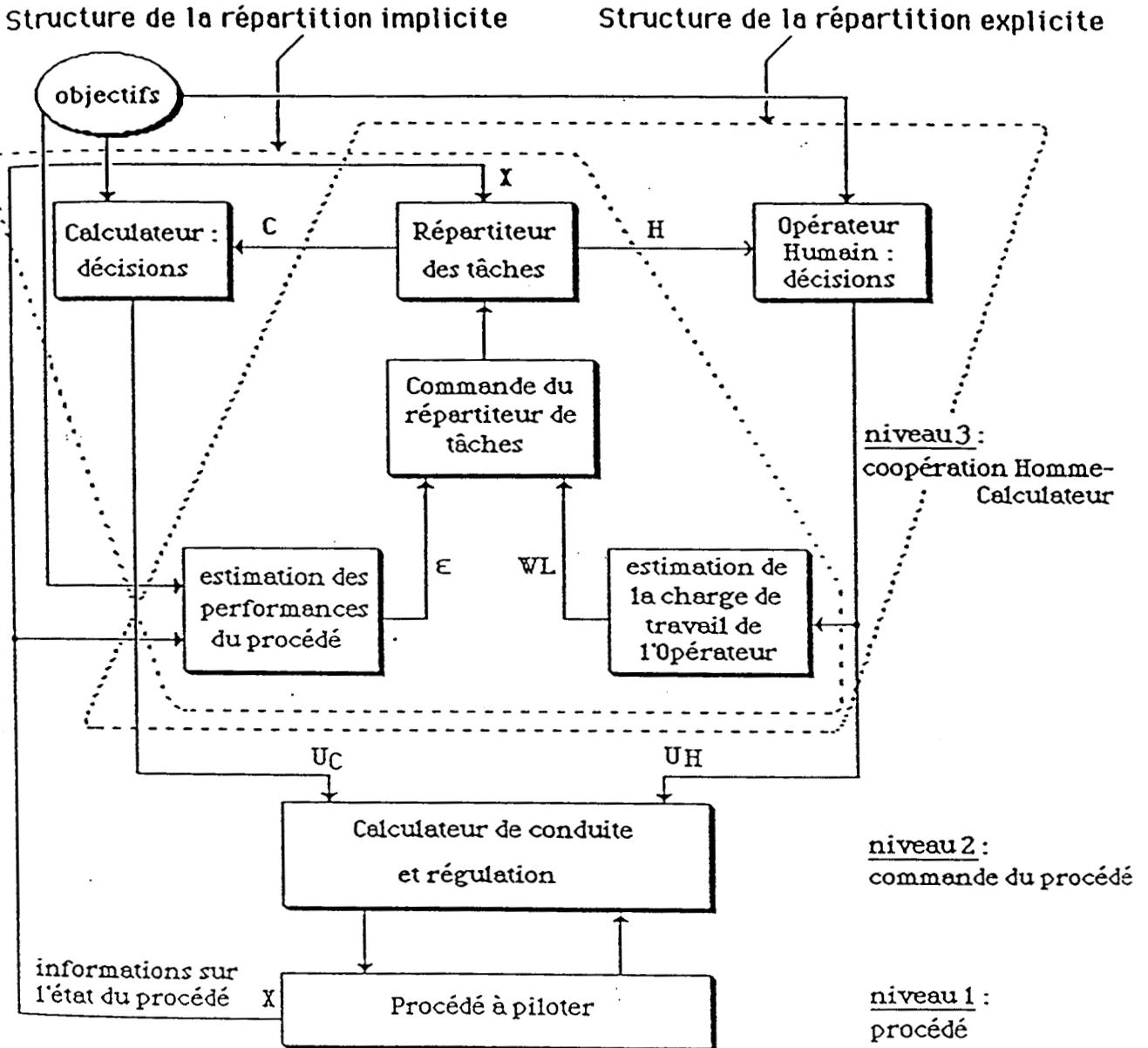


Figure II-2: La répartition dynamique des tâches d'après [MAL-MIL 87]

AVANTAGES D'UNE ALLOCATION DYNAMIQUE DES TACHES

L'allocation dynamique des tâches entre l'homme et la machine, basée sur des critères qui évoluent au cours de l'exécution du travail, présente de nombreux avantages: [ROU 81]

- une meilleure utilisation des ressources de la machine;
- une faible variabilité de la charge de travail de l'opérateur;
- des possibilités pour l'homme d'améliorer sa connaissance globale du système;
- moins de risque de diversion de l'homme ou de la machine, donc un système plus tolérant aux fautes.

II-5- STRUCTURE DE LA COMMANDE DES SYSTEMES

1- Système de commande et modes de fonctionnement

Tout système automatisé comporte, Fig. II-3: [LOP 84]

-Une partie commande comprenant le(s) calculateur(s) de pilotage et l'interface opérateur;

-une partie opérative composée du manipulateur, de l'organe terminal et de l'environnement de la tâche.

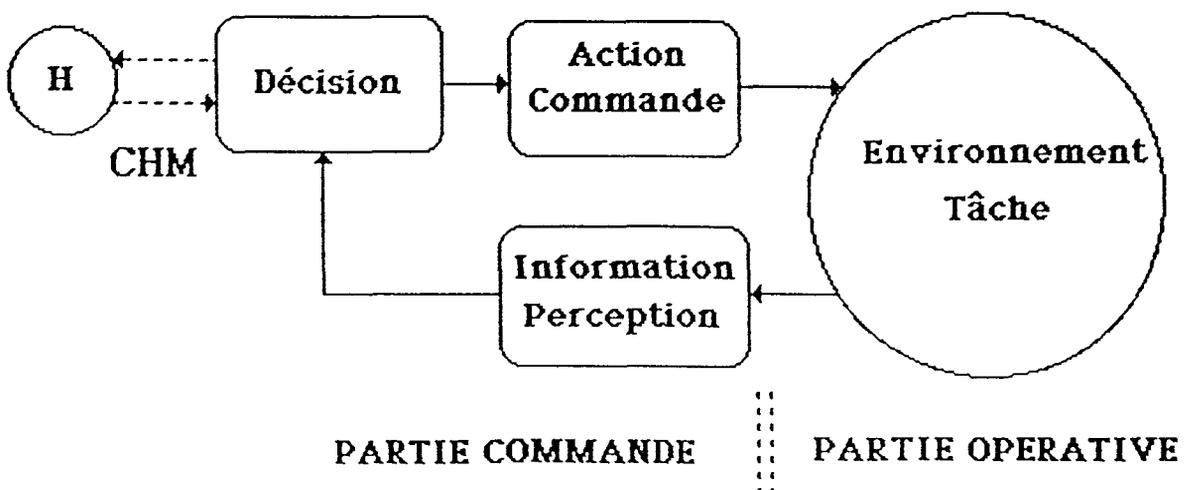


Figure II-3: Structure du système de commande

Le rôle du système de commande est essentiellement de remplir les trois fonctions suivantes Fig. II-4: [COI 85]

- - **Perception**: reconnaissance de l'espace de travail, contrôle de l'évolution de la tâche;
- - **Décision**: planification, résolution des conflits;
- - **Action**: élaboration des signaux de consigne.

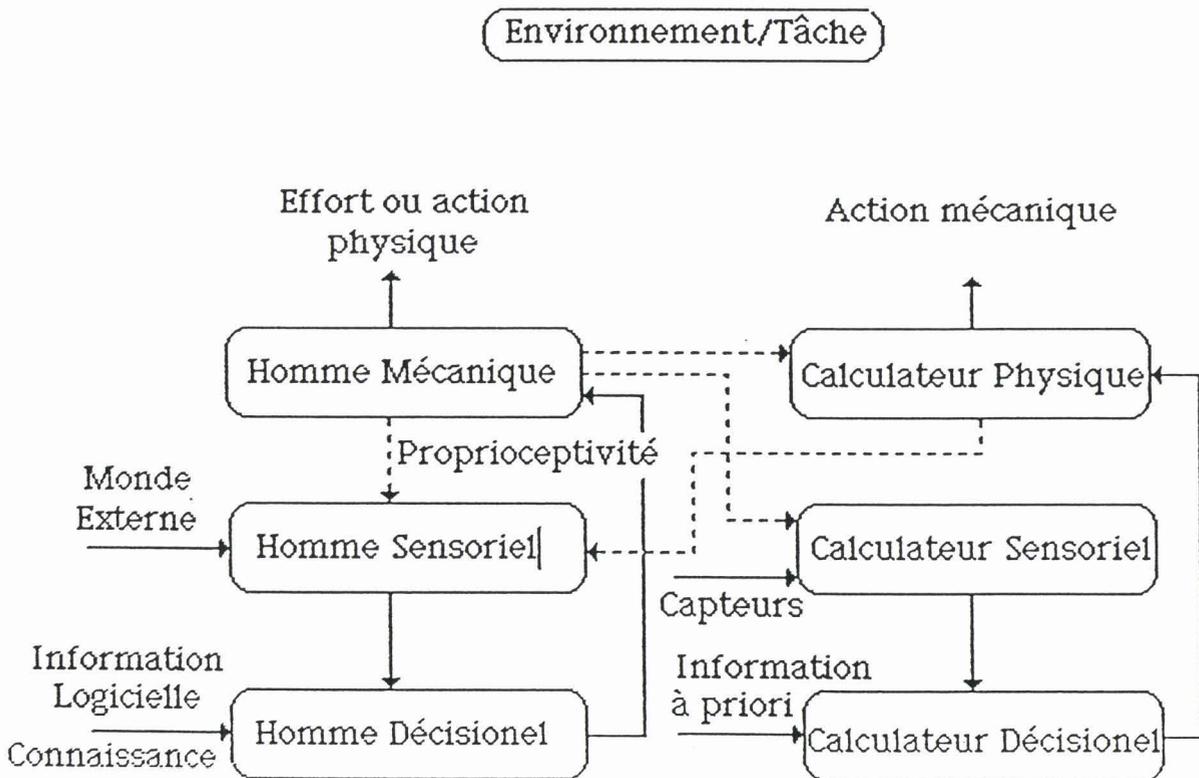


Figure II-4 : Décomposition de la commande

L'opérateur étant un maillon essentiel dans les boucles de commande d'un télémanipulateur, son degré de coopération avec la machine définit un mode de fonctionnement.

Selon la qualité des informations disponibles sur l'univers de travail, les possibilités de traitement de ces informations respectivement par l'homme et la machine, la qualité de description de la tâche à réaliser et les capacités d'"intelligence" du robot, le mode de fonctionnement mis en oeuvre pourra être:

- manuel: l'homme est en permanence dans la boucle de commande;

-automatique: le rôle de l'opérateur se limite à la phase d'initialisation;

-semi-automatique: l'homme intervient par intermittence pour guider, corriger ou débloquer le système.

2- Les modes de fonctionnement semi-automatiques

D'une façon générale, la complémentarité de l'homme et de la machine (voir tableau II-1) pousse à privilégier le mode de fonctionnement semi-automatique Fig. II-5. Ceci se traduit par un partage du travail dans le temps avec une succession de phases de conduite manuelles et automatiques, ou par la décomposition de la commande en fonctions élémentaires qui, à un instant donné, seront prises en compte par l'homme ou la machine (partage dans l'espace).

Le passage d'une phase de pilotage manuelle à une phase automatique (découplage maître/esclave), et réciproquement (recouplage), se produit sous certaines conditions à déterminer. Selon la nature des critères utilisés et leur évaluation, nous parlerons soit de mode **semi-automatique** soit de **mode mixte**.

2-1- Le mode semi-automatique

Un système télémanipulateur susceptible d'être mis en oeuvre en fonctionnement semi-automatique est constitué, par exemple, d'un bras équipé de capteurs proxémétriques et d'un système de commande Fig. II-5. En phase de pilotage par ordinateur, la tâche est exécutée par un ensemble de fonctions locales (préhension, déplacement fin, insertion, ...), dirigées par des algorithmes d'évolution automatique dans un espace défini, d'une part, par la zone de perception machine et d'autre part, par une condition de découplage (accrochage capteurs, par exemple) fixée a priori [HAB 81]. [AUT 83].

Homme

Robot

Détection de signaux

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - limitée aux sens humains - acquisition simultanée d'un grand nombre de signaux - vigilance discontinue et courte | <ul style="list-style-type: none"> - échelle de perception étendue - excellente sensibilité - pas de problème de vigilance |
|--|---|

Interprétation

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - difficulté dans l'appréciation des détails quantitatifs - vision globale des problèmes - reconnaissance de formes immédiate même avec des déformations importantes - changement aisé de classification - capacité à interpréter diversement un même signal - agrégation d'informations d'origines variées - amélioration des performances par l'expérience - risque d'erreur | <ul style="list-style-type: none"> - extraction d'informations précises à partir de signaux bien définis - temps de réponse parfois non négligeables - nombre de traitements parallèles illimité - difficulté à associer des signaux de natures différentes - réponse unique à un signal donné - performances stables |
|---|---|

Calcul et raisonnement

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - intuition raccourcissant les raisonnements longs - référence à des expériences antérieures - adaptation à des situations non prévues - fiabilité variable | <ul style="list-style-type: none"> - calcul rapide et précis - dimension des calculs illimitée - déduction excellente - induction impossible - pas de raisonnement abrégé - régularité des résultats |
|--|--|

Fonctions motrices

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - difficile en boucle ouverte - excellente adaptativité | <ul style="list-style-type: none"> - capacité à générer une commande à partir d'un modèle |
|--|--|

Autonomie et rythme de travail

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - réponse répétitive difficile à maintenir - possibilité d'un effort exceptionnel - dégradation des performances avec la fatigue - rythme discontinu | <ul style="list-style-type: none"> - constance et fidélité des réponses automatiques - grande vitesse d'exécution - rythme régulier |
|---|--|

Communication

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - échanges sommaires et rapides - bonne expressivité - utilisation du contexte - correction des erreurs - risque d'ambiguïté | <ul style="list-style-type: none"> - syntaxe contraignante - expression limitée - sens univoque |
|--|--|

Tableau II-1: Comparaison des fonctions Homme/Robot
d'après [LOP 84]

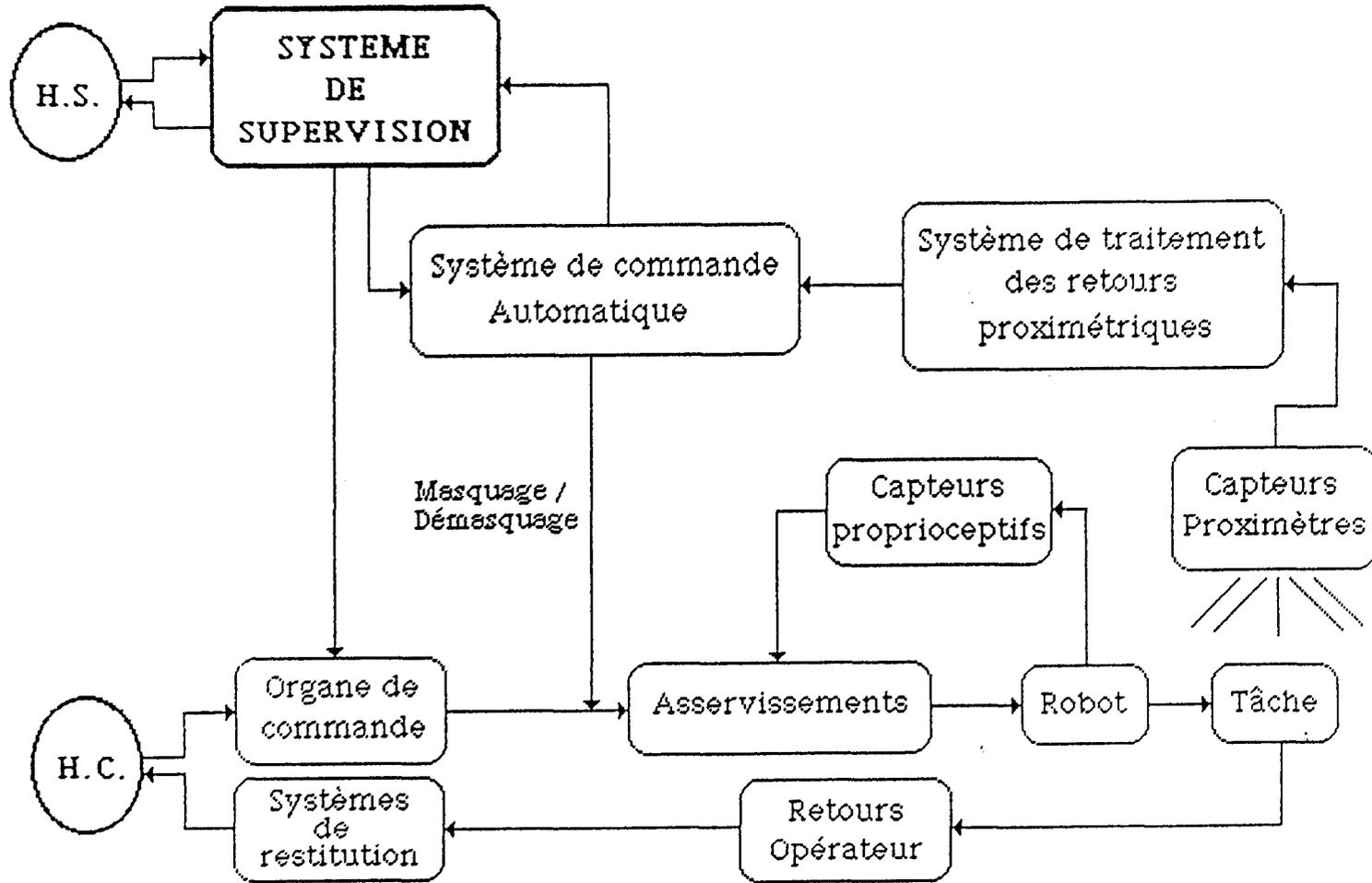


Figure II-5: Structure du mode Semi-Automatique

Dans ce contexte, l'homme intervient en tant que superviseur: il pilote manuellement le bras esclave dans les mouvements de grande amplitude, et, pointe les objets de l'environnement sur lesquels vont s'exercer les fonctions automatiques qu'il a préalablement sélectionné, et ce, dès que les conditions de découplage seront vérifiées. On dira de la sorte que l'homme agit comme un "générateur de plan d'action à distance" décrivant la stratégie qu'il s'est fixé par l'intermédiaire d'un organe de pilotage analogique et d'une interface symbolique.

2-2- Le mode mixte

En mode mixte, la décision de couplage/découplage résulte de l'évaluation dynamique des capacités respectives de l'homme et de la machine, faite par les modules "Espion" décrits ultérieurement (cf. § II-6-1). Les fonctions de supervision ne sont plus assurées par l'homme seul, mais par le couple Opérateur/Système de commande, et on passe d'une structure maître/esclave à phases automatiques, à une structure maître/maître, où les dilemmes sont résolus par le calculateur.

La mise en oeuvre du mode mixte suppose des moyens logiciels importants et requiert une hiérarchisation du système de commande Fig. II-6.

Au niveau superviseur, un générateur de plan interactif détermine l'enchaînement des actions; le partage du travail est ensuite organisé par un module d'allocation de tâches prenant en compte:

- des modèles du robot et de l'homme-captateur;[ROG 80]
- l'état de la machine et de l'opérateur (ce qui implique l'existence de systèmes espions);
- les caractéristiques de la tâche à exécuter dont certains paramètres (précision, réalisabilité, ...) dépendent du système piloté;
- les critères à optimiser (charge de travail, motivation de l'opérateur, vitesse d'exécution, ... etc.).

H.P.: Homme Planificateur
 H.S.: Homme Superviseur
 H.C.: Homme Capteur

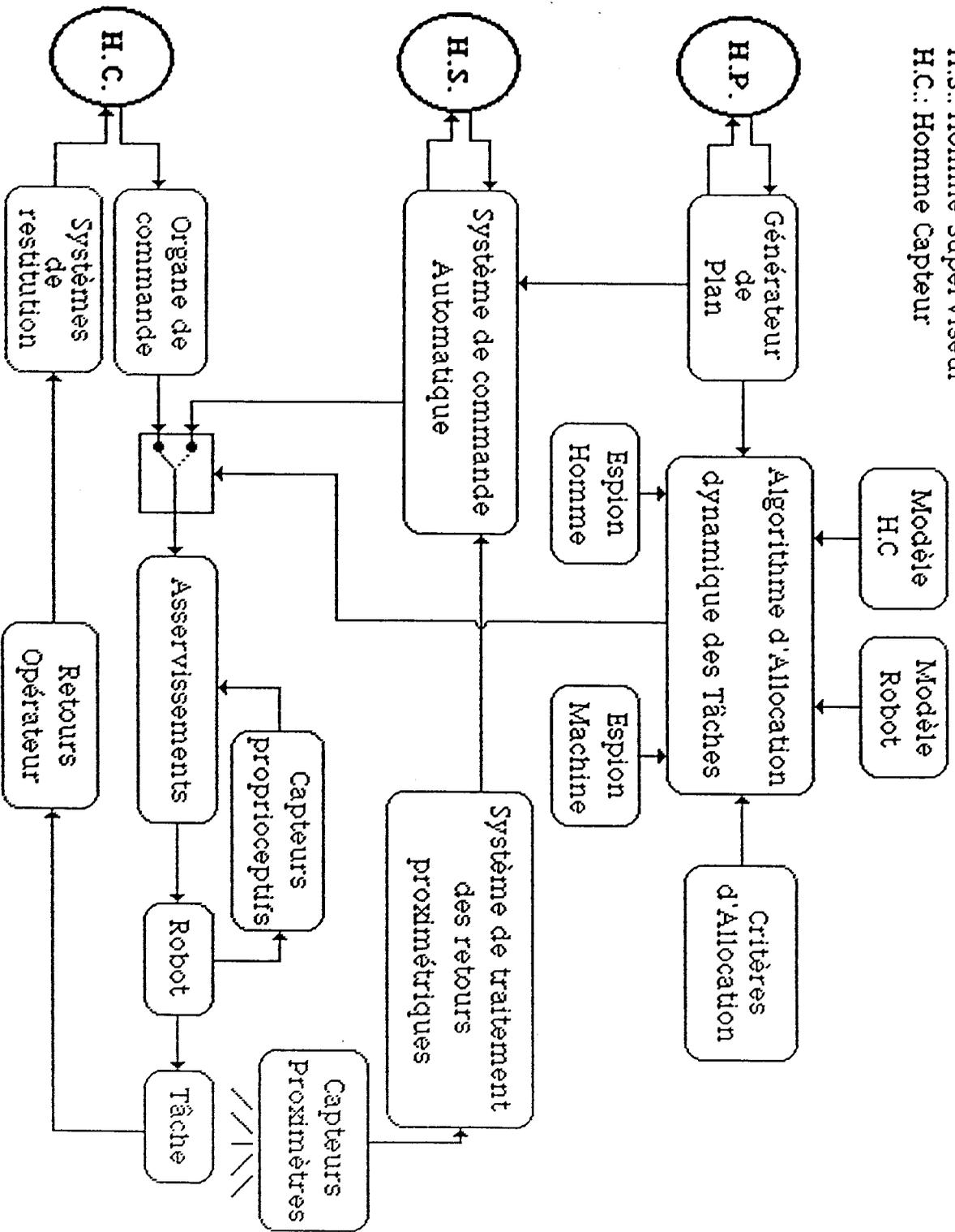


Figure II-6: Structure du mode Mixte

Selon les options prises pour les différents paramètres cités ci-dessus, les consignes d'asservissement peuvent être générés soit par un organe maître, soit par le calculateur.

Le fonctionnement du télémanipulateur apparaît ainsi comme étant constitué par l'enchaînement des deux phases suivantes:

- une phase télémanipulée,
- une phase locale dans la zone de perception machine avec dilemme quant au partage du travail entre l'homme-captteur et la machine d'exécution.

De la sorte, le mode mixte peut s'analyser comme la réunion de trois systèmes en interaction:

1)- Un système non découplable où la perception machine insuffisante impose un pilotage manuel;

2)- Un système à vision opérateur nulle qui ne permet qu'une commande automatique;

3)- Un système à dilemme posant le problème de la prise en compte de la tâche (découplage global) ou d'un élément de celle-ci (découplage local associé à un partage spatial ou temporel).

Dans un tel cadre, l'opérateur dialogue avec la machine en tant qu'Homme Capteur qui participe aux phases télémanipulées, mais également en tant qu'Homme Planificateur ou Superviseur qui intervient dans les processus décisionnels.

II-6- PARTAGE DE LA COMMANDE

Le partage de la commande entre l'homme et la machine se fait par l'intermédiaire du système superviseur. Ce dernier possède des informations en ligne concernant les performances de chaque composant du système H/M.

II-6-1-Evaluation des performances Homme/Machine

Au cours de l'exécution d'une tâche, on observe des variations des performances du système H/M ou de l'une de ses composantes. Concernant le télémanipulateur, un fonctionnement dégradé peut être la conséquence de pannes franches ou déviantes. Au niveau de l'opérateur, les problèmes sont essentiellement liés à la charge de travail. Lorsque celle-ci tend vers zéro, l'homme perd de sa vigilance et ses capacités diminuent. Par la suite, tout dépassement des possibilités ponctuelles de l'opérateur entraîne un affaiblissement de la fiabilité des décisions prises.

A plus long terme, une telle situation peut déboucher sur un état de stress qui pousse l'opérateur à se focaliser sur un aspect critique de la commande au détriment de tous les autres, générant ainsi un risque de défaillance humaine relativement à un paramètre normalement parfaitement maîtrisé. Par ailleurs, la fatigue découlant d'une densité d'occupation excessive de l'opérateur fait apparaître des temps de réponse plus longs, des hésitations sur les décisions à prendre et une nouvelle diminution des capacités de travail. Parallèlement, les dégradations affectant les retours d'informations influent sur l'opérateur ou le système de commande, selon les boucles mises en oeuvre. Partant de ces constatations, la mise en oeuvre du mode mixte suppose l'intégration à la machine de modules espions [DIA 85], chargés de délivrer des informations sur l'état courant de l'un des composantes du système H/M, et éventuellement de donner une estimation de performance par rapport à une tâche donnée.

II-6-1-1- Les paramètres opérateur

L'état de l'opérateur peut être détecté en temps réel lors d'un travail sur le micromanipulateur, au moyen des paramètres suivants:

-Signaux physiologiques tels que la réponse électrodermale ou l'analyse de la voix [LEP 84];

-La densité d'utilisation de l'opérateur, déterminée soit au moyen d'une tâche annexe où la performance humaine est facilement mesurable (l'opérateur négligeant la tâche secondaire en cas de charge de travail importante), soit par une technique d'occlusion (évaluation du temps de réponse à une dégradation progressive du retour d'information);

-Le comportement de l'opérateur suite par exemple, a un codage des déplacements élémentaires de l'organe de commande, puis à une analyse syntaxique des phrases obtenues.

II-6-1-2- Les paramètres Machine

Au niveau des retours, la qualité des informations restituées peut être évaluée, comme dans le cas des retours visuels, par la mesure d'un indice de netteté (taux de convexité) caractérisant l'éclairage d'une scène ou, la focalisation d'une image.

II-6-2 Critères de découplage

La décision de découplage/recouplage fait appel à différents critères qui ne sont pas nécessairement agrégeables, c'est à dire qu'ils peuvent être de natures différentes, aussi bien quantitatives que qualitatives.

Une méthode de surclassement baptisée **Electre I** [HAB 81], a permis d'aboutir à un choix dans ce domaine.

Il s'agit pour chaque critère C_j affecté d'un poids P_j , de porter une appréciation (sur une échelle de 1 à 10 par exemple) relativement aux modes de commande automatique $C_j(A)$ et manuel $C_j(M)$.

On forme ensuite:

$$P^* = \sum_{j \in J} P_j \quad \text{avec } * \in \{ +, -, = \}$$

$$\text{et } j^+ = \{ C_j / C_j(A) > C_j(M) \}$$

$$j^= = \{ C_j / C_j(A) = C_j(M) \}$$

$$j^- = \{ C_j / C_j(A) < C_j(M) \}$$

et on définit la concordance :

$$\text{Conc} = \frac{P^+ + P^=}{P^+ + P^= + P^-}$$

ainsi que la discordance pour chaque critère:

$$\text{Quel que soit } C_j \text{ e } j^- , \text{ DISC} = | C_j(A) - C_j(M) |$$

On dira alors que le découplage est possible, lorsque la concordance est supérieure à un certain seuil fixé, et lorsque la discordance reste dans les limites acceptables pour chacun des critères.

Cette méthode s'avère robuste en regard de l'évaluation des critères, mais pose des problèmes vis à vis de l'affectation des poids ainsi que l'indépendance des critères qui demeure une des conditions d'application.

II-7 PROBLEMES POSES PAR LE MODE MIXTE

Le mode mixte se révèle tout à fait intéressant par l'assistance de haut niveau qu'il est susceptible d'apporter à l'opérateur; cependant il se heurte à des difficultés d'implantation des outils informatiques qui lui sont nécessaires (générateur de plan et systèmes espions). Une deuxième remarque se fonde sur une hypothèse implicite de l'allocation dynamique de tâche: à savoir que, considérant les coûts de réalisation, la rentabilité du mode mixte suppose une influence sensible des variations de la performance humaine vis-à-vis des aptitudes naturelles de l'opérateur et de la machine à effectuer un certain travail. Par exemple, dans le cas du micromanipulateur chirurgical, une faible dégradation de la dextérité du chirurgien permet parfois d'envisager avantageusement un mode de conduite automatique.

Cet aspect est cependant mineur et le plus souvent, la donnée d'une sous-tâche de téléopération décide du partage de la commande.

Il semble par ailleurs impossible de tracer une frontière stricte entre les fonctions de planification et d'allocation. Ainsi, l'exécution automatique d'une sous-tâche peut nécessiter une phase manuelle de reconnaissance et de modélisation de l'environnement local, phase qui est inutile si l'on décide initialement d'un mode télémanipulé.

De même, le recours à l'opérateur impose le réglage des systèmes de vision qui prendra un temps non négligeable s'il faut déplacer les caméras. Ceci revient à dire que l'attribution de la commande à l'homme ou au calculateur, passe par des phases de configuration destinées à mettre le système H/M dans un état adapté au mode de conduite choisi, et dont il importe d'apprécier le coût au niveau de l'allocation du travail.

II-8 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons essayé de souligner les problèmes posés par la coopération H/M et en particulier par l'allocation dynamique des tâches. Ainsi et afin de disposer d'un système de commande "**prévenant**", capable de s'adapter au comportement de l'opérateur, il est indispensable que ce dernier communique son plan d'action à la machine.

En conséquence, ce type d'allocation risque d'imposer une augmentation sensible du volume des échanges H/M, d'où une orientation de nos recherches vers le domaine de la communication implicite: Il s'agit pour un système disposant de connaissances diverses portant sur des modèles cognitifs de l'opérateur, sur la communication H/M, etc ...; de déterminer les points de focalisation de l'attention humaine et partant de là faire générer par la machine des séquences d'actions complétant celles de l'homme. Pour cela nous envisageons d'étudier le comportement de l'opérateur dans l'ensemble de ses fonctions (perception, décision et action) dans les chapitres suivants.

CHAPITRE III

ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'OPERATEUR AU NIVEAU PERCEPTION DE L'INFORMATION

III - I INTRODUCTION

L'information dont dépend la sécurité et l'efficacité du système H/M est en majeure partie de nature dynamique.

De plus, l'opérateur ne peut prendre une décision adéquate sans une information qui soit à la fois claire et suffisante.

Plusieurs études ont été faites dans ce domaine. Celles-ci ont montré, que le transfert de l'information requiert deux conditions ([BIL 81] [TES 84]):

- 1) L'existence de l'information
- 2) La disponibilité du récepteur

La première met en cause l'émetteur, la qualité et l'opportunité du message émis, alors que la seconde porte essentiellement sur le récepteur humain.

Les études montrent également que la majorité des causes faisant état d'un problème de transfert de l'information sont dues aux erreurs humaines, de leur incapacité d'accomplir le transfert d'information de manière opportune ou d'une décision prise concernant une information jugée inutile.

L'étude des interactions Homme/Machine entreprise ici, ne cherche pas seulement à améliorer des échanges d'informations en termes de perception, mais également l'adaptation du travail à l'homme. Ceci nécessite la compréhension des processus cognitifs utilisés par l'homme pour la conduite de la tâche qu'il a à effectuer.

III-2- OBJECTIF DU RETOUR D'INFORMATION EN T.A.O.

Le but du retour d'information en T.A.O. est d'apporter une assistance à l'opérateur, lui permettant ainsi d'accomplir ses activités dans les meilleures conditions.

Ce concept peut être introduit à partir de la problématique suivante:

Etant donné le niveau d'exigence de la tâche et les capacités humaines, choisir à chaque moment la configuration optimale de capteurs, de modes de commande et de retour (modes d'observation) à l'opérateur, pour qu'il réalise la tâche au mieux et sans surcharge [ARA 86].

Ceci conduit aux propriétés suivantes:

1- Le processus devient essentiellement multifonctionnel et assymétrique à cause:

- * de la combinaison originale de données à la fois "réelles" et "artificielles",

- * de la transformation possible de l'information (échange entre la nature du retour et des données capteurs),

- * du nombre limité des canaux d'entrée et de sortie de l'opérateur humain.

2- Il devient interactif: configuration adaptative des dispositifs d'acquisition et de restitution, et définition de modes de couplages variés afin de sélectionner les interfaces, avec l'homme d'une part, avec le contrôle ordinateur d'autre part.

Il en résulte un système complexe où nous pouvons mettre en évidence plusieurs classes de retour d'informations.

III-2-1- CLASSES DE RETOUR D'INFORMATION EN T.A.O.

Les classes de retour d'information sont réparties selon trois types de procédé:

1) - Selon le type d'acquisition, on a:

- des informations en ligne, en provenance de capteurs.
- des informations à priori, issues de modèles.

2) - Selon le type de représentation, on a:

- des retours d'informations réels (transmissions directe de données sensorielles)
- des retours d'informations artificiels ou synthétiques (venant d'un modèle ou des traitement de données).

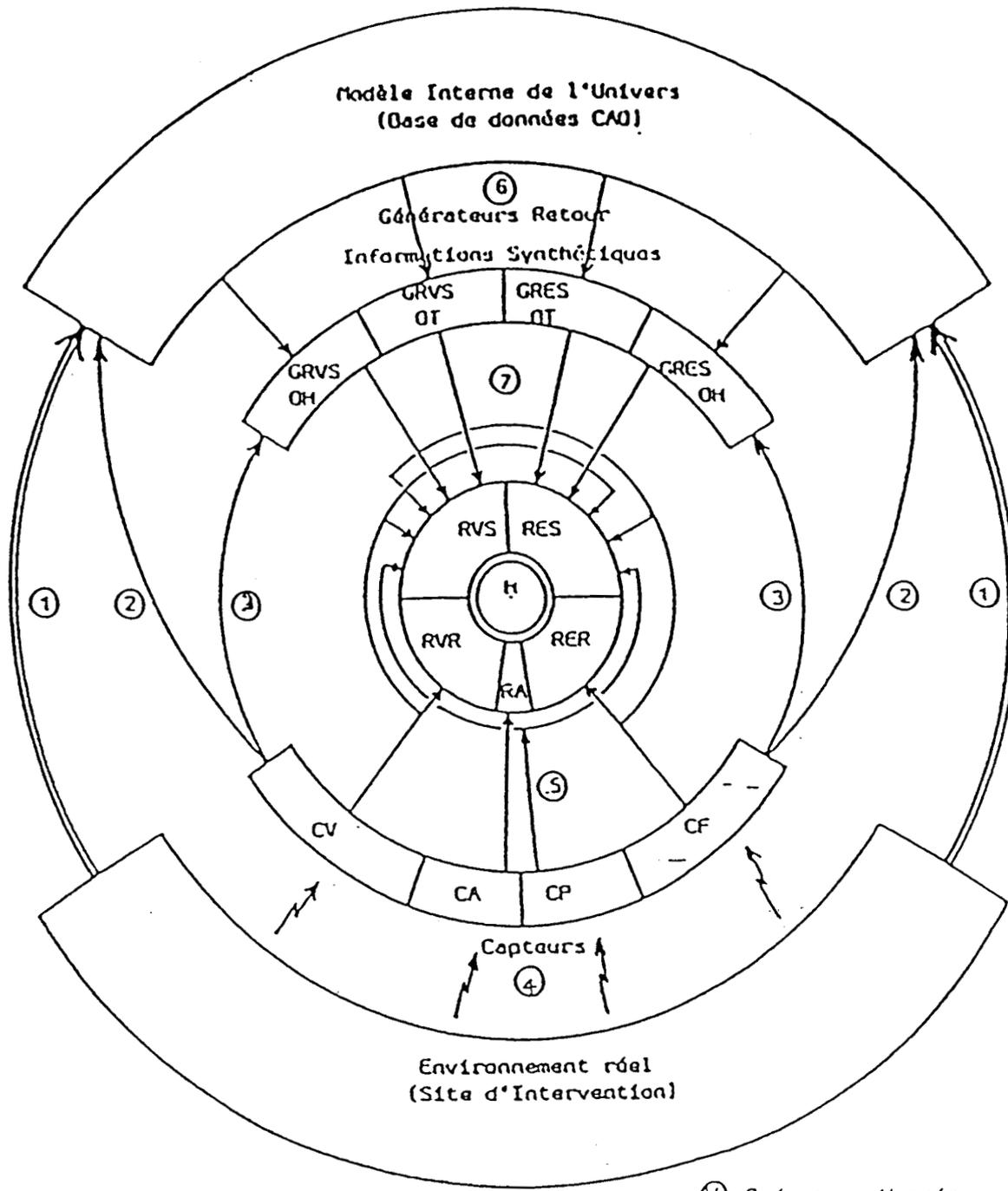
3) - Selon le type de transformation et d'interprétation, il y a:

- des retours d'informations orientés tâche: information pertinente (fournissant une notion d'erreur par rapport au but de la tâche).

La figure III-1 illustre dans un diagramme symbolique, les différents sous-systèmes et fonctions attachées au concept de retour d'informations.

III-3- PROBLEMES LIES AU TRANSFERT DE L'INFORMATION

Avant de citer les facteurs qui peuvent déformer l'information émise, on rappelle les différents chemins par lesquels, les messages transitent depuis l'émetteur jusqu'au récepteur.



Ⓜ Opérateur Humain

Retour information

GRVS Générateur Retour Visuel Synthétique
 GRES Générateur Retour Effort Synthétique
 OH Orienté Opérateur Humain
 OT Orienté Tâche
 RVR Retour Visuel Réel
 RER Retour Effort Réel

Fonctions

(1) Modélisation à priori
 (2) Reconstruction Modèle
 (3) Actualisation
 (4) Perception
 (5) Retours Directs d'Informations
 (6) Extraction Base de Données
 (7) Restitution d'Informations Synthétiques

Capteurs

CV Capteur de Vision
 CA Capteur Audio
 CP Capteur Proximétrique
 CF Capteur de Force
 Capteur Tactile

Figure III-1: Retour d'information en T.A.O.
 d'après [ARA 86]

III-3-1-RAPPEL SUR L'INFORMATION ET LA COMMUNICATION [VAS 82], [SHA 49]

a) **La communication** : Elle peut être définie comme la transmission réciproque de messages et de leurs significations entre deux stations, l'une appelée l'émetteur et l'autre récepteur (figure III-2).

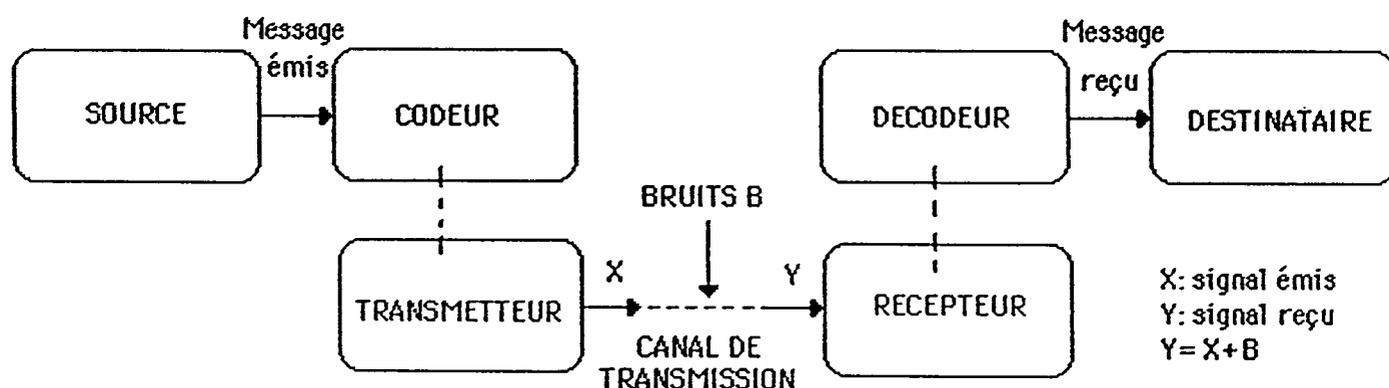


Fig. III-2 : SCHEMA GENERAL DU PROCESSUS DE COMMUNICATION

L'émetteur: à l'origine, un homme désire émettre une idée, une information, faire part d'une expérience; il conceptualise son message selon ses propres schémas de pensée, choisit un langage, des images, des mots puis procède au codage ou aux traductions nécessaires avant de le transmettre.

Le support: tout message émis emprunte un canal, utilise un support qui peut varier suivant les intentions de l'émetteur et le milieu dans lequel s'effectue la communication (les ondes radio, la lumière, le papier . . .). Durant son cheminement, le message est plus ou moins déformé par les bruits et les parasites de toutes natures.

Le récepteur: l'homme (ou machine) à qui le message est destiné doit ensuite le décoder puis le traduire, d'où de nouvelles distorsions dues au langage, au sens que nous donnons personnellement à chaque mot, à notre perception particulière.

Toute personne qui émet un message, le fait dans un certain but et avec une certaine intention. Si les centres d'intérêts de l'interlocuteur ne correspondent pas, lors de la réception du message à ceux de l'émetteur, la communication ne passera pas ou sera considérablement appauvrie.

Donc, d'une manière générale, on peut dire que chaque élément constituant la chaîne de transmission, contribue à l'appauvrissement de l'information ainsi qu'à sa distorsion.

III-3-2- GESTION DES INFORMATIONS EN T.A.O.

La gestion dynamique des retours d'informations est réalisée par le système superviseur (figure III-3). Ce dernier possède une description complète de la tâche, sous forme d'un graphe d'état, ainsi que les actions à réaliser en cas d'urgence (ex: cas de détection de panne, tâche non réalisée, outil mal saisi . . .). Par ailleurs, il gère toutes les transitions de modes et les actions de couplage-découplage et met à la disposition de l'opérateur, un graphe local d'actions, lui signifiant les ressources dont il peut disposer en un instant donné, pour réaliser la sous-tâche en cours.

Le scénario de la tâche a été d'abord réalisé de manière "grossière" puis chaque sous-tâche a été décrite de façon plus "fine" afin de permettre son exécution par un opérateur novice. Un exemple de scénario est donné au chapitre V (figure V-4).

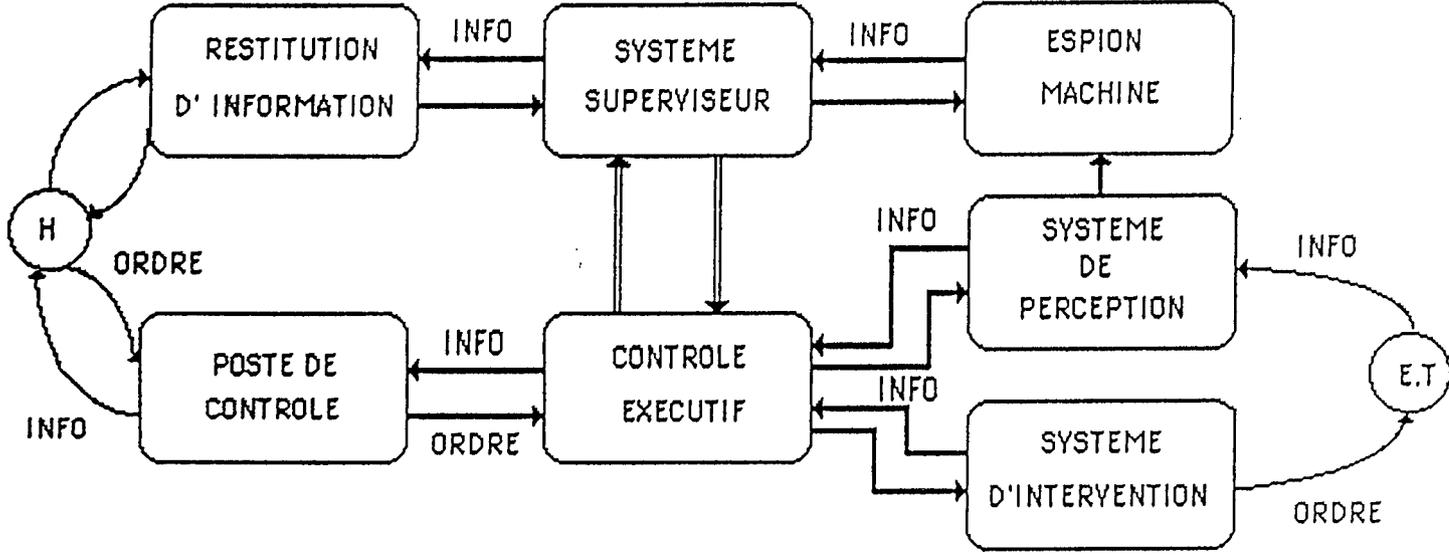


FIG. III-3: GESTION DYNAMIQUE DES RETOURS D'INFORMATIONS

H: Opérateur Humain
E.T: Environnement de Tâche

III-3-3- FACTEURS CONTRIBUANT A UN MAUVAIS TRANSFERT DE L'INFORMATION

La qualité de l'information transmise est tributaire des perturbations qui peuvent être causées par les facteurs suivants:

a) Les facteurs systèmes:

- Information dégradée ou non disponible (i.e. image dégradée, capteur en panne. . .),
- procédures ambiguës,
- environnement (i.e. environnement enfumé ou obscure lors d'une transmission visuelle. . .),
- exigence de travail élevée (i.e. tâche dense ou complexe).

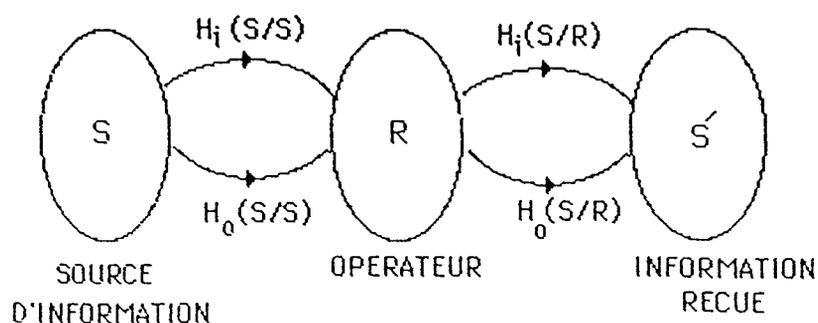
b) Les facteurs humains:

- Distraction,
- oubli,
- stress,
- fatigue,
- niveau d'apprentissage. . .

III-4- ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'OPERATEUR DANS UNE PHASE D'ACQUISITION D'INFORMATIONS

III-4-1- POSITION DU PROBLEME

Si on se limite au problème posé par la restitution de l'information au niveau superviseur, on peut dire que l'on se retrouve dans la configuration suivante:



Dans ce schéma, le superviseur joue le rôle de la source d'information S qui est caractérisée par son organisation interne appelée syntaxe et par une relation extérieure appelée sémantique. Cette source indépendamment de son support matériel, est observée par un observateur R qui la décrit selon ses propres critères, ou encore dans son propre référentiel R, de telle sorte que S est définie essentiellement par rapport à R soit (S/R).

Notation:

$H_i (S/S)$: syntaxe réelle,

$H_0 (S/S)$: sémantique réelle,

$H_i (S/R)$: syntaxe observée,

$H_0 (S/R)$: sémantique observée.

III-4-2- APPROCHE UTILISEE

L'approche utilisée consiste à étudier le comportement de l'opérateur dans l'ensemble de ses fonctions.

LES FONCTIONS DE L'OPERATEUR EN T.A.O.

En téléopération, les fonctions de l'opérateur sont réparties en trois niveaux (figure III-4) :

- Un niveau de perception: Ce niveau qui est purement mental engendre une charge de mémorisation;

- un niveau de décision : à ce niveau, l'opérateur effectue une comparaison entre les situations mémorisées et les situations observées, afin d'élaborer une stratégie de commande. ceci engendre également une charge mentale de décision;

- un niveau d'action : à ce niveau, l'opérateur agit sur les commandes afin d'atteindre son but, compte tenu de la stratégie choisie pendant la décision. Ce niveau engendre une charge physique.

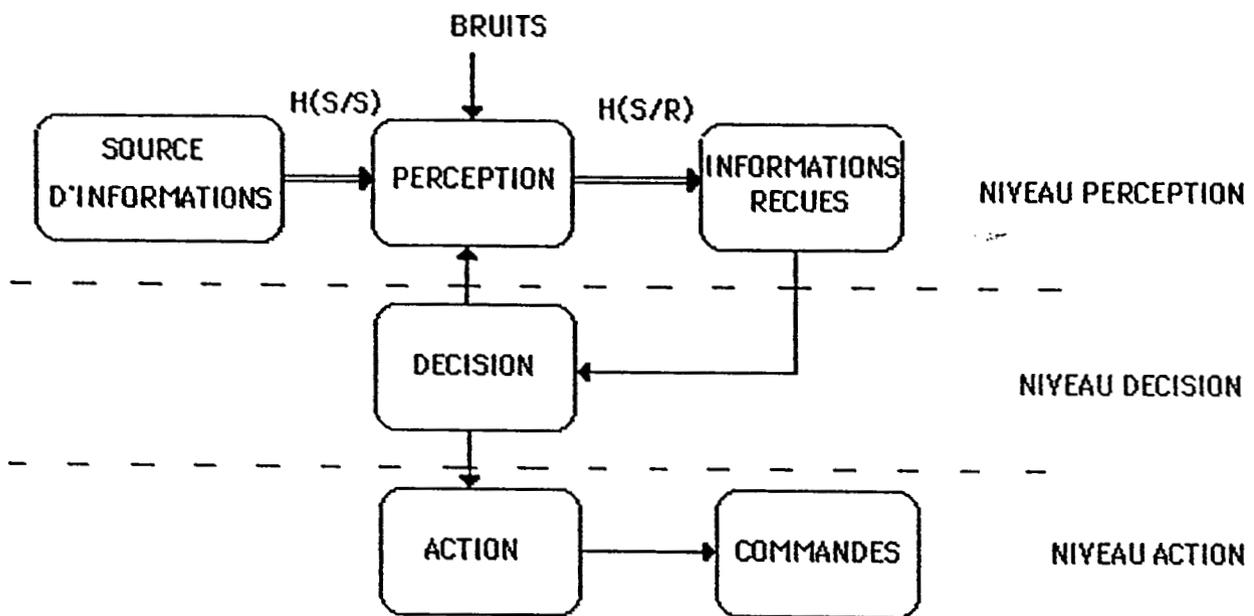


Fig. III-4 : LES PRINCIPALES FONCTIONS DE L'OPERATEUR

III-5- ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'OPERATEUR AU NIVEAU PERCEPTION

Au niveau perception, on peut considérer l'opérateur comme un **ensemble de canaux** de transmission d'informations. Ces canaux peuvent être perturbés par son état physiologique, psychologique ainsi que son niveau d'expérience. Ainsi, si l'opérateur se trouve dans un état de fatigue dense f_i , l'information émise par la source ne sera pas perçue en totalité (figure III-5).

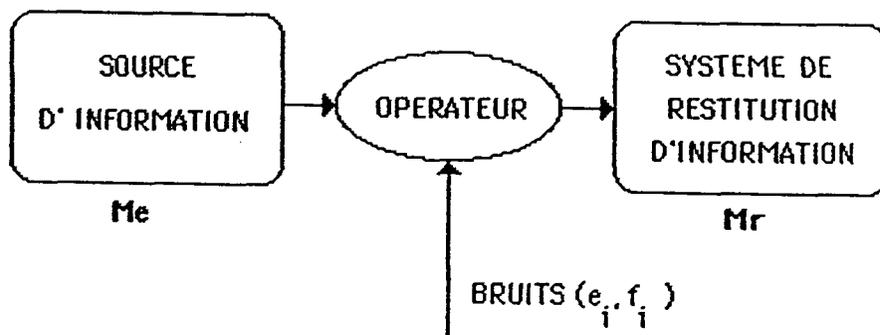


Fig. III-5: NIVEAU DE PERCEPTION DE L'OPERATEUR

Une source d'information émet un nombre de messages M_e ; l'opérateur Op_i , dans un état $Q (e_i, f_i)$ perçoit un nombre de messages M_r .

Où : e_i est le niveau d'apprentissage relatif à l'opérateur Op_i
 f_i est le taux de fatigue relatif à l'opérateur Op_i .

Notons que e_i et f_i sont déterminés très subjectivement à l'aide d'un questionnaire présenté à l'opérateur qui doit situer son état selon une échelle allant de 0 (pas fatigué du tout) jusqu'à 1 (extrêmement fatigué).

$$0 < e_i < 1 \quad \text{et} \quad 0 < f_i < 1$$

$$M_r < M_e \quad \text{quelque soit } Q.$$

On définit comme taux de perception, le rapport K_p ,

$$K_p = M_r / M_e \quad (\%)$$

L'objectif principal de cette formulation, est de concevoir un poste opérateur adaptatif permettant d'augmenter le taux de perception.

III-6- EVALUATION DU TAUX DE PERCEPTION

Afin d'évaluer le taux de perception, on a procédé à une série d'expérimentation, dont le principe est de comparer le nombre des messages reçus et le nombre des messages émis.

III-6-1- DESCRIPTION DU SITE EXPERIMENTAL

Un ordinateur, type Macintosh génère un certain nombre de messages M_e d'une façon dynamique. Ces messages sont destinés à l'opérateur Op_i , qui doit les enregistrer sur un magnétophone (figure III-6).

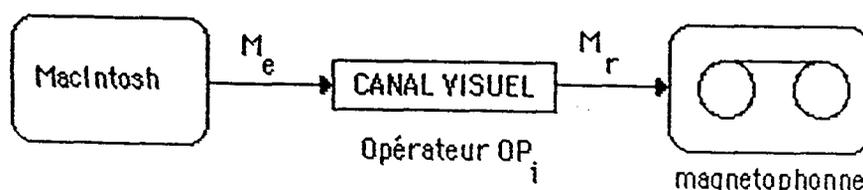


Fig. III-6 : BANC D'ESSAI

Le relevé du nombre des messages reçus permet d'extraire le taux de perception K_p ainsi que la capacité de mémorisation de l'opérateur.

a) Première série d'expérimentation

Durant cette série, la taille des messages émis M_e est constante (20 caractères/ ligne) seul le nombre de M_e croît progressivement. Le temps alloué à l'opérateur est de 10 secondes pour la lecture des messages, et 5 mn pour l'enregistrement. Les données sont alors traitées puis comparées avec les messages émis.

Notons que quelques recommandations ergonomiques concernant la lisibilité des caractères et visant à faciliter la perception, ont été utilisées. Ces recommandations sont résumées sur les tableaux III-1, et III-2 d'après [KOL 89].

10 opérateurs non entraînés, d'une moyenne d'âge de 27 ans, sont soumis au test, la figure III-7 met en évidence les meilleurs résultats obtenus.

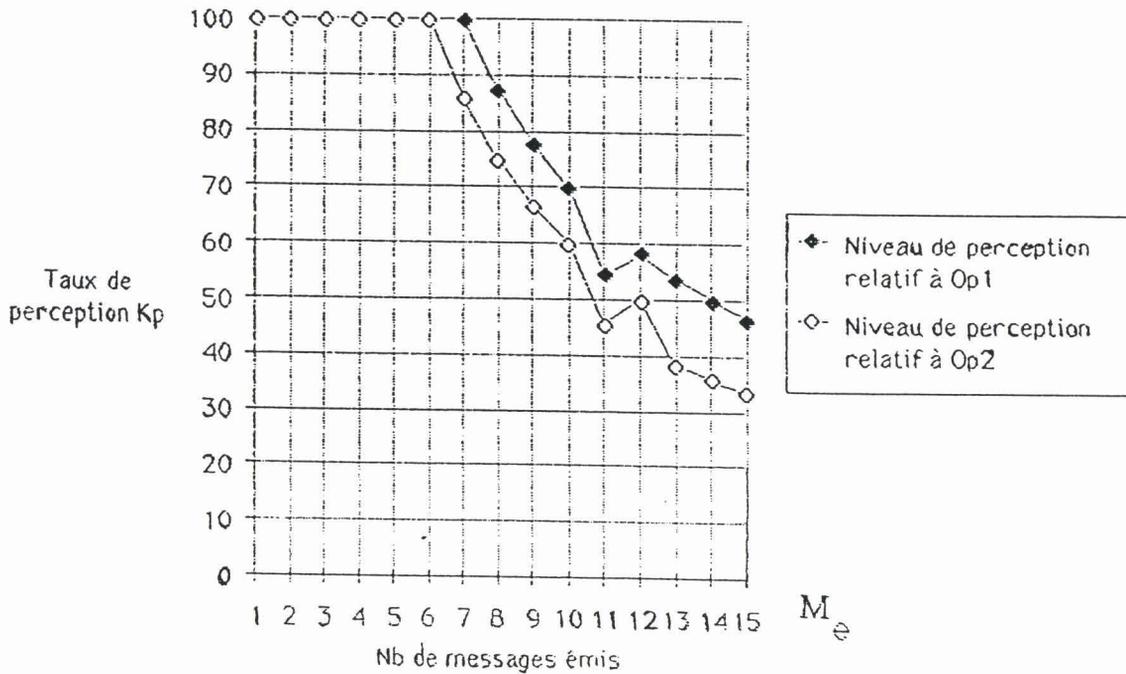


Figure III-7

CARACTERISTIQUE PHYSIQUE	RECOMMANDATION ERGONOMIQUE
Inclinaison	0° : Conseillée jusqu'à 45° : médiocre sinon : à éviter
Hauteur minimale de caractère (H) pour une distance de lecture (D)	D = 0,5 m : H ≥ 4 mm D = 0,8 m : H ≥ 5 mm D = 1 m : H ≥ 6 mm D = 1,2 m : H ≥ 7 mm
Hauteur maximale de caractère (Hm)	L'entité ne doit pas attirer l'attention par une hauteur trop grande, au détriment d'autres informations importantes.
Largeur de caractère (L)	$0,5 \times H \leq L \leq 0,7 \times H$
Espacement entre deux caractères (E)	$0,2 \times H \leq E \leq 0,5 \times H$
Espacement entre deux lignes (ES)	$H \leq ES \leq 1,5 \times H$
Police de caractère	caractère non sophistiqués ex: H R 3 8 : Bon H R 3 8 : Médiocre
Matrice de points formant le caractère (nb de points x nb de points)	7 x 9 et 9 x 13 : Bons 5 x 7 : Médiocre
Luminosité des caractères et du fond	Réglables

TABLEAU III-1: Recommandations ergonomiques concernant
les caractéristiques physiques des caractères

CONFUSION BILATERALE	CONFUSION UNILATERALE
<p>O et Q T et Y S et 5 I et l X et K I et l l et l</p>	<p>C reconnu comme G D reconnu comme B H reconnu comme M ou N J et T reconnu comme I K reconnu comme R 2 reconnu comme Z B reconnu comme R, S ou 8</p>

Tableau III-2: Caractères couramment confondus
D'après [CAK 80]

b) Deuxième série d'expérimentation

On impose à l'opérateur de faire 15 essais ce qui correspond à une expérimentation d'une durée de quatre heures.

Durant chaque essai, on envoie à l'opérateur 8 messages dont le contenu est variable et la taille de chaque message n'excédant pas 20 caractères/ligne.

Le but de cette expérimentation est d'extraire l'incidence du paramètre f_i sur le taux de perception K_p . La figure III-8 met en évidence les résultats obtenus.

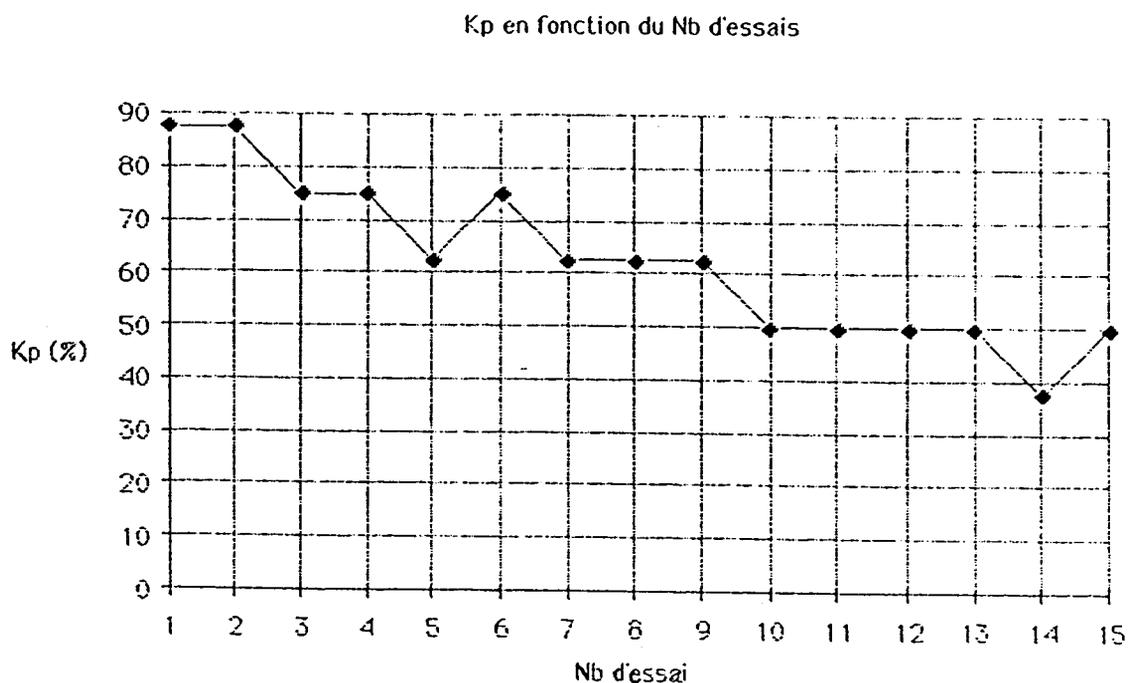


Figure III-8

On remarque qu'à partir du 10^e essai le taux de perception chute de 87,50 % à 50 % ; on ne peut toutefois pas prétendre que cela est dû à la fatigue de l'opérateur, car sa démotivation est également un facteur à prendre en considération.

Afin de discriminer ces deux facteurs, on a placé deux opérateurs en situation de concours. Les résultats obtenus sont illustrés par la figure III-9.

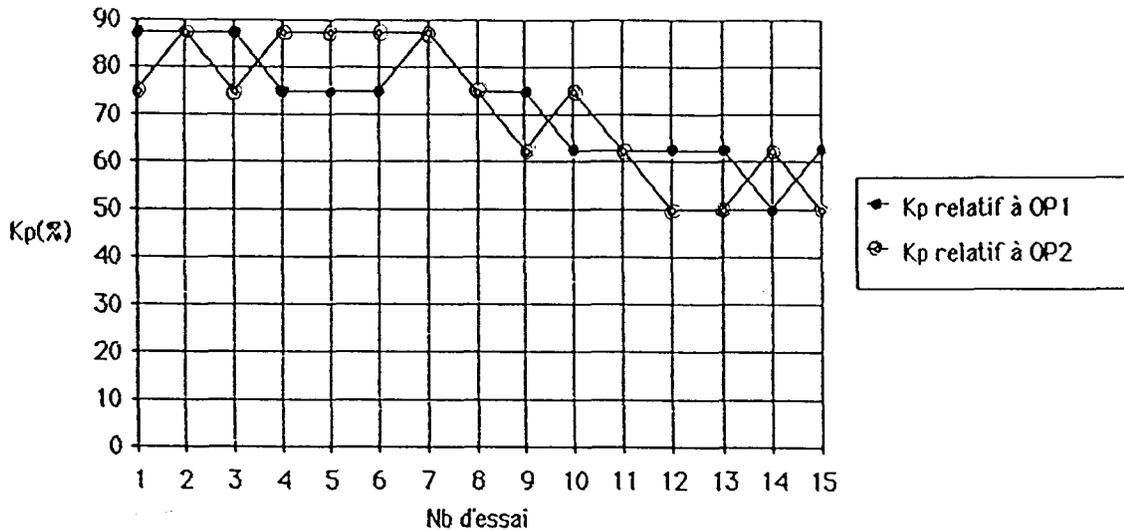


Figure III-9 : OP1 et OP2 en situation de concours

INTERPRETATION DES RESULTATS

La figure III-9 montre d'une part, que le taux de perception K_p chute de 87,50% à 50% à partir du 12^{ème} essai, contrairement au premier cas (figure III-8), où la même chute est constatée beaucoup plus tôt (10^{ème} essai).

D'autre part la limite inférieure de K_p correspond à 50% alors que dans le premier cas K_p atteint 37,50% au 14^{ème} essai. Nous pouvons conclure dans ce cas, que la chute de K_p correspond à une fatigue de l'opérateur.

III-7 EFFET DE LA REDONDANCE SUR LA PERCEPTION

La méthode la plus simple pour combattre, l'effet du bruit, consiste à repeter le message.

III-7-1 ETUDE EXPERIMENTALE

Afin de tester l'effet de la redondance sur la perception, on a intégré un module de synthèse vocale dans le dispositif décrit au (S-6-1). Ce module permet de synthetiser à l'intention de l'opérateur certain des messages affichés sur l'écran (figure III-10).

Les détails concernant la synthèse vocale, sont donnés en annexe 1.

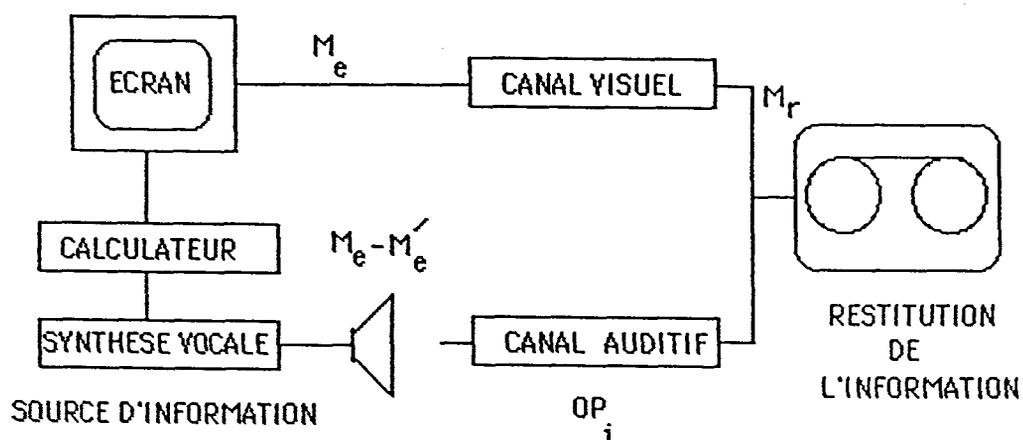


Fig. III-10 : BANC D'ESSAI

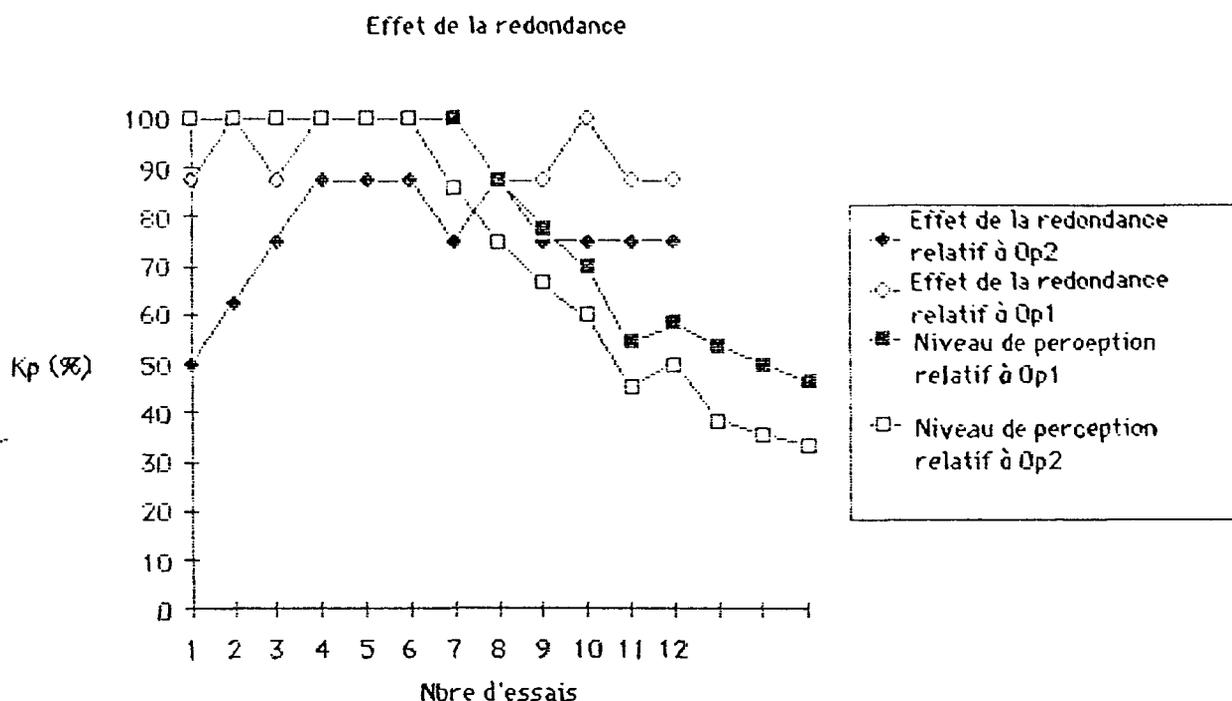


Figure III- 11: Effet de la redondance sur Kp

III-7-2 RESULTATS OBTENUS

La figure III-11, met en évidence l'effet de la redondance sur le taux de perception Kp.

On constate une nette amélioration du facteur Kp pour les opérateurs Op₁ et Op₂. Cependant deux observations s'imposent :

a) L'opérateur Op₁ n'étant pas familiarisé avec le système de synthèse vocale, hésite au début de prendre en compte les informations synthétisées. Ce qui justifie le faible taux de perception durant les premiers essais.

b) L'opérateur Op₂ connaissant le système de synthèse vocale, voit son taux de perception Kp atteindre le maximum dès les premiers essais. Ces observations nous permettent de dire que le taux de perception Kp est proportionnel au taux d'apprentissage e_i .

III - 8-CONCLUSION

Nous avons essayé dans ce chapitre, après avoir rappeler les principales causes liées à un transfert appauvri de l'information, d'étudier le comportement de l'opérateur au niveau perception. Plusieurs expérimentations ont été menées afin d'extraire le lien entre le taux de perception K_p et le taux de fatigue f_i ainsi que le niveau d'apprentissage e_i de l'opérateur.

Afin d'augmenter le taux de perception K_p , nous avons multiplié les canaux récepteurs de l'opérateur en utilisant en plus de l'information visuelle, l'information auditive. Les résultats montrent une nette amélioration concernant la perception des messages issus des différentes sources d'informations. Ceci permet de dégager quelques notions importantes servant de base dans la conception du poste opérateur. Cependant elles restent très élémentaires en ce qui concerne la perception en compréhension.

Pour analyser le comportement de l'opérateur, face à cette situation, il est impératif d'étudier son comportement au niveau décision et action et voir comment les moyens d'interaction affectent la qualité de perception. C'est cet aspect que nous développerons dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV

ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'OPERATEUR AU NIVEAU DECISION: CONTRIBUTION A L'ELABORATION DU MODELE SUPERWOMAN

IV-1-INTRODUCTION

Le comportement de l'opérateur au niveau décision est par nature assez difficilement accessible par l'expérience. L'approche la plus utilisée [SOU 76] part de l'analyse du comportement extérieur de l'opérateur et des actions correspondantes.

Les informations disponibles à l'opérateur sont acquises par ses canaux récepteurs, ou contenues dans sa mémoire à un instant donné. Pourtant, il doit reconnaître aussitôt que possible la situation dans laquelle le système se trouve et confirmer son hypothèse par l'apport d'informations pertinentes et discriminantes.

Ce problème particulier de la reconnaissance de situations peut être interprété comme un problème de reconnaissance de formes.

L'opérateur dispose dans sa mémoire des motifs de situations pour lesquels une structure d'actions correctrices a été mémorisée pendant l'entraînement. Il tente d'associer un de ces motifs avec les données de la situation perçue (figure IV-1).

Il a été expérimentalement constaté que de minimes modifications dans les consignes modifient le type de la réponse. En particulier, un opérateur expérimenté, en cas d'alarme va agir directement en conséquence. Donc plusieurs étapes du raisonnement peuvent être sautées. Ceci grâce à un schéma du processus que l'opérateur a intégré dans sa mémoire.

La notion ainsi introduite est celle de "**l'image opérative**". Bien que cette dernière soit supposée globale, il est possible de l'analyser selon trois niveaux (Figure IV-2):

- A la perception du signal correspond "**l'image signal**";
- à la comparaison du modèle correspond "**l'image mnémonique**";
- à l'action sur l'objet correspond "**l'image structure opérative**".

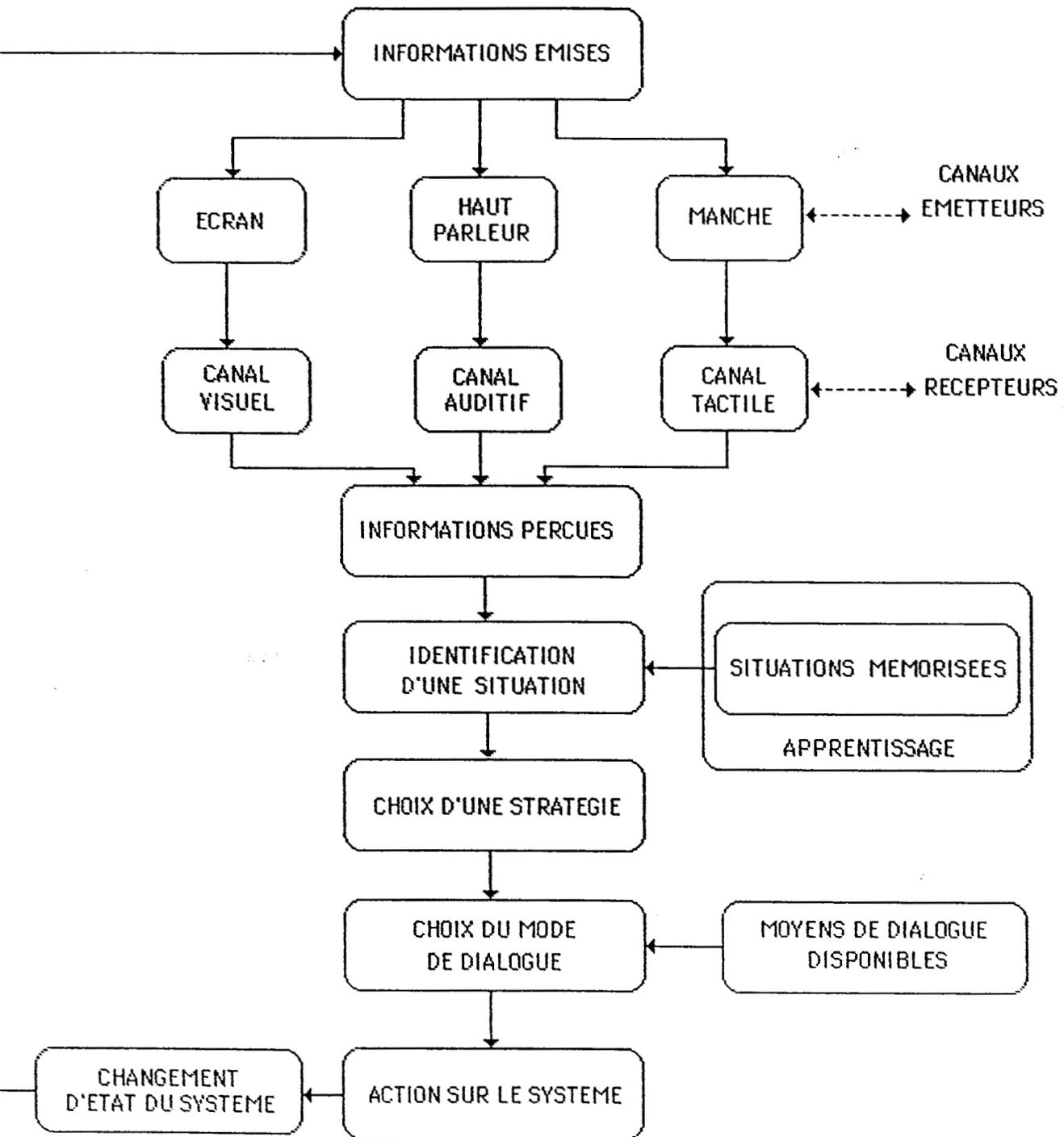


Figure IV-1: Boucle de Perception/Action

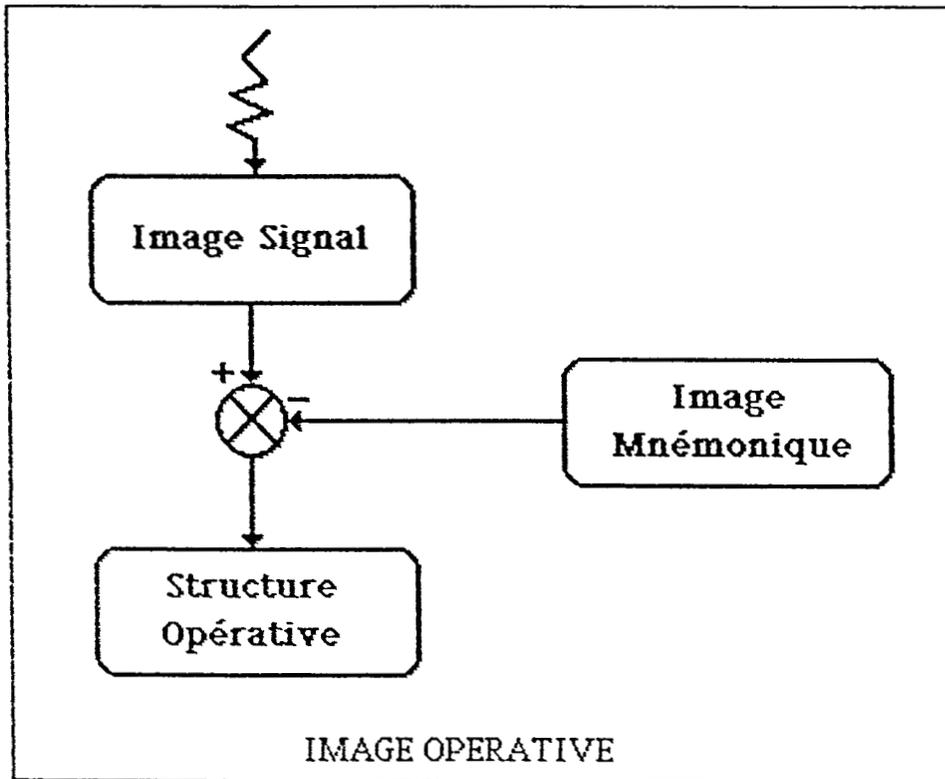


Figure IV-2: Structure de l'image opérative

IV-2-STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DU MODELE SUPERWOMAN

Le modèle SUPERWOMAN se compose d'un système de commande interactive et d'un superviseur chargé de présenter l'information pertinente à l'opérateur en tenant compte d'une part de l'état de fatigue de l'opérateur, d'autre part, de l'état du système de restitution d'informations.

IV-2-1-STRUCTURE DE LA COMMANDE INTERACTIVE EN T.A.O.

La commande interactive en T.A.O. nécessite une structure de modes de commande modulaires hiérarchiquement interconnectés et prenant en compte la répartition des connaissances entre l'homme et la machine.

Hierarchie de la commande interactive réalisée

La hiérarchie proposée comprend trois niveaux allant du "Métamode" au mode élémentaire.

- Au niveau 3 (le plus bas niveau dans la hiérarchie), la machine exécute des modes de commande élémentaires qui définissent un "état généralisé" du système de commande exécutif, c'est à dire une configuration parallèle du système de commande bilatéral généralisé-[FOU 86] et du système de retour d'information généralisée.

A ce niveau tactique, un catalogue comprend plusieurs modes en tant qu'instructions élémentaires.

- Au niveau 2, nous définissons un mode global comme une structure de modes élémentaires interconnectés comprenant des fonctions stratégiques élémentaires, telles que la sélection du degré d'autonomie (mode manuel, semi-automatique, automatique) ou la prise en compte des procédures de configuration.

La répartition de la commande à ce niveau, met l'accent sur les capacités de décision de l'homme.

- Au niveau 1 (le plus haut niveau dans la hiérarchie), la spécification d'une opération complexe en fonction de l'objectif à atteindre devrait rendre possible la génération d'un "macromode" formé d'une liste ordonnée de modes nécessaires à l'accomplissement de la tâche.

IV-2-2-ANALYSE DES TACHES ET CONTRIBUTION A LA CONCEPTION DU POSTE DE TRAVAIL DANS SUPERWOMAN

La description d'une tâche T_j dépend de sa fréquence d'apparition N , ainsi que du niveau d'apprentissage e_j de l'opérateur Op_j .

* Si T_j est une tâche courante (fréquente), sa représentation va être "grossière" et c'est l'expérience de l'opérateur qui va lui permettre une description plus fine.

* Si T_j est entièrement nouvelle ($N=1$), le niveau de description va dépendre des performances de la machine ainsi que de l'interprétation faite par l'opérateur à partir de son expérience.

Cependant, chaque tâche est située:

- Par rapport à l'objectif du système (opération);
- par rapport à la structure du système.

On peut analyser une tâche en faisant abstraction de la définition précise du poste de travail. Il s'agira alors de caractériser les critères de réussite, d'échec, ou de qualité de la tâche. Cependant deux questions peuvent se poser lors de la décomposition de cette tâche:

1)- Comment faut-il décomposer une tâche pour que sa caractérisation paramétrique soit possible?

2)- Où cette décomposition doit-elle s'arrêter pour que l'opérateur puisse adapter la tâche aux aléas et surtout à son expérience?

Des éléments de réponse à ces questions sont fournis par les paragraphes suivants:

IV-2-2-1-DECOMPOSITION DE TACHES

Deux types d'approche ont été utilisées dans le cadre de la télémanipulation spatiales [MIL 82], [DUB 84].

a)- Approche systémique

Cette approche repose sur un postulat de clôture, c'est à dire que les opérations sont des systèmes fermés, complètement analysables [MIL 82]

b)- Approche anthropomorphique[LIE 79]

Cette approche repose sur un postulat d'universalité: il est possible de dégager des principes universels, valables quel que soit l'effecteur (Homme ou bras esclave) et quelle que soit la tâche.

La décomposition en sous-tâches obtenues par cette approche fait apparaître des sous-tâches "**effectives**" mais néglige les sous-tâches "**mentales**"

IV-2-2-2- COMPARAISON DES DEUX APPROCHES

Les approches systémique et anthropomorphique ne sont pas totalement satisfaisantes dans le cadre de notre analyse. Elles permettent cependant:

- De distinguer parmi les tâches, celles qui sont totalement effectives et celles qui sont partiellement mentales;
- de réaliser une liste de sous-tâches effectives génériques.

Ceci fait apparaître la nécessité de considérer le système de téléopération comme composé d'un segment planificateur, et d'un segment effecteur.

* Le segment planificateur est chargé de la gestion du modèle de la tâche;

* Le segment effecteur est chargé de l'exécution effective de la tâche.

IV-2-3- CONCEPTION DU POSTE OPERATEUR: ETUDE ERGONOMIQUE

Compte tenu du nombre d'informations à transmettre et du nombre d'actions à gérer, la conception du poste opérateur s'avère relativement délicate. Cependant une exigence minimale peut être fixée: Il s'agit de concevoir des systèmes d'assistance qui soient "**faciles à manipuler**" et "**faciles à apprendre**".

Le plus souvent, ces deux conditions ne sont pas réunies: ou bien le système est trop bavard pour l'opérateur entraîné, ou bien il est trop concis pour L'opérateur non expérimenté.

1- Comment faciliter L'apprentissage?

a)- Disposer d'une interface cohérente pour toutes les applications du poste de travail, constitue un premier principe de base.

Cette homogénéité concerne:

1)- Les modes de dialogues en entrée

2)- L'affichage des informations

3)- Le langage de commande

b)- Disposer d'un moyen qui permet des facilités de prévention et de detection d'erreur tels que:

- L'affichage de la liste des commandes autorisées dans le contexte courant;

- l'existence d'une documentation en ligne, permettant ainsi à l'opérateur, de découvrir progressivement le mode d'emploi du système (menus hierarchisés);

- la demande de confirmation pour les commandes dangereuses, ... etc.

2- Comment faciliter l'utilisation?

Un système est facilement utilisable, si les caractéristiques suivantes sont réunies:

a)- La souplesse: c'est la façon de passer d'une activité à l'autre et d'un mode à l'autre.

Plusieurs activités seront donc simultanément présentées sur l'écran sous la forme de fenêtres et menus. Cette possibilité suppose une gestion multifenêtrage dynamique.

b)- La personnalisation du poste de travail: Un poste de travail doit être configuré, selon l'exigence de la tâche et surtout selon l'aptitude qu'a l'opérateur à réaliser cette tâche.

c)- Les temps de réponse: Les temps de réponses doivent être raisonnables et éventuellement adaptés à chaque opérateur. Lorsque le traitement d'une commande est trop long, le système doit montrer à l'opérateur dans quelle situation, il se trouve.

Cette liste de critères fonctionnels, n'est pas exhaustive, mais permet de dégager un bon aperçu sur ce que devrait être un poste de travail accueillant.

Nous définissons dans la suite de ce chapitre les outils qui permettent d'atteindre ces objectifs.

IV-3- LES MODES DE DIALOGUES UTILISES DANS SUPERWOMAN

Afin de faciliter le travail de l'opérateur, il nous a semblé judicieux d'adjoindre au système, différentes interfaces (commande vocale, joystick, souris,...). L'ensemble de tous ces moyens constituerait une interface opérateur "évoluée". Cependant chaque moyen de dialogue présente des avantages et des inconvénients, tant sur l'aspect charge de travail que sur l'aspect performance. Aussi, il nous a semblé intéressant d'assigner à chaque sous tâche spécifique, un type de communication adapté selon le niveau d'exigence de la tâche.

IV-3-1- COMMANDE VOCALE UTILISEE

La carte de reconnaissance utilisée est la carte RMI 88 de VECSYS. Cette carte fonctionne selon les caractéristiques suivantes :

- reconnaissance de mots isolés;
- système monolocuteur;
- capacité des mots reconnaissables est limitée à 240 mots;
- nécessite une seule phase d'apprentissage.

Elle dispose de deux interfaces de communication :

- Le multibus Intel (standard IEEE 796);
- Une liaison série conforme à l'avis V 24 du CCITT.

Pour chaque type d'interface, une version logicielle correspondant à son protocole d'échange existe.

(il ne sera présenté dans ce document que les renseignements relatifs à la liaison série, qui était seule disponible, et sur laquelle ont porté tous les travaux).

IV-3-1-1 PRINCIPE D'UTILISATION DE LA CARTE DE RECONNAISSANCE

Son utilisation se fait en deux phases : (figure IV-4)

- Une phase d'apprentissage,
- Une phase de reconnaissance.

a) Phase d'apprentissage

Dans cette phase, l'opérateur prononce ses mots devant le micro (des mots isolés: l'un après l'autre en respectant une pause de 200 ms minimum). Chaque mot prononcé est filtré, traité, puis les références vocales relatives à ce mot sont rangées en mémoire. Si l'utilisateur le désire, il peut associer une étiquette à cette référence.

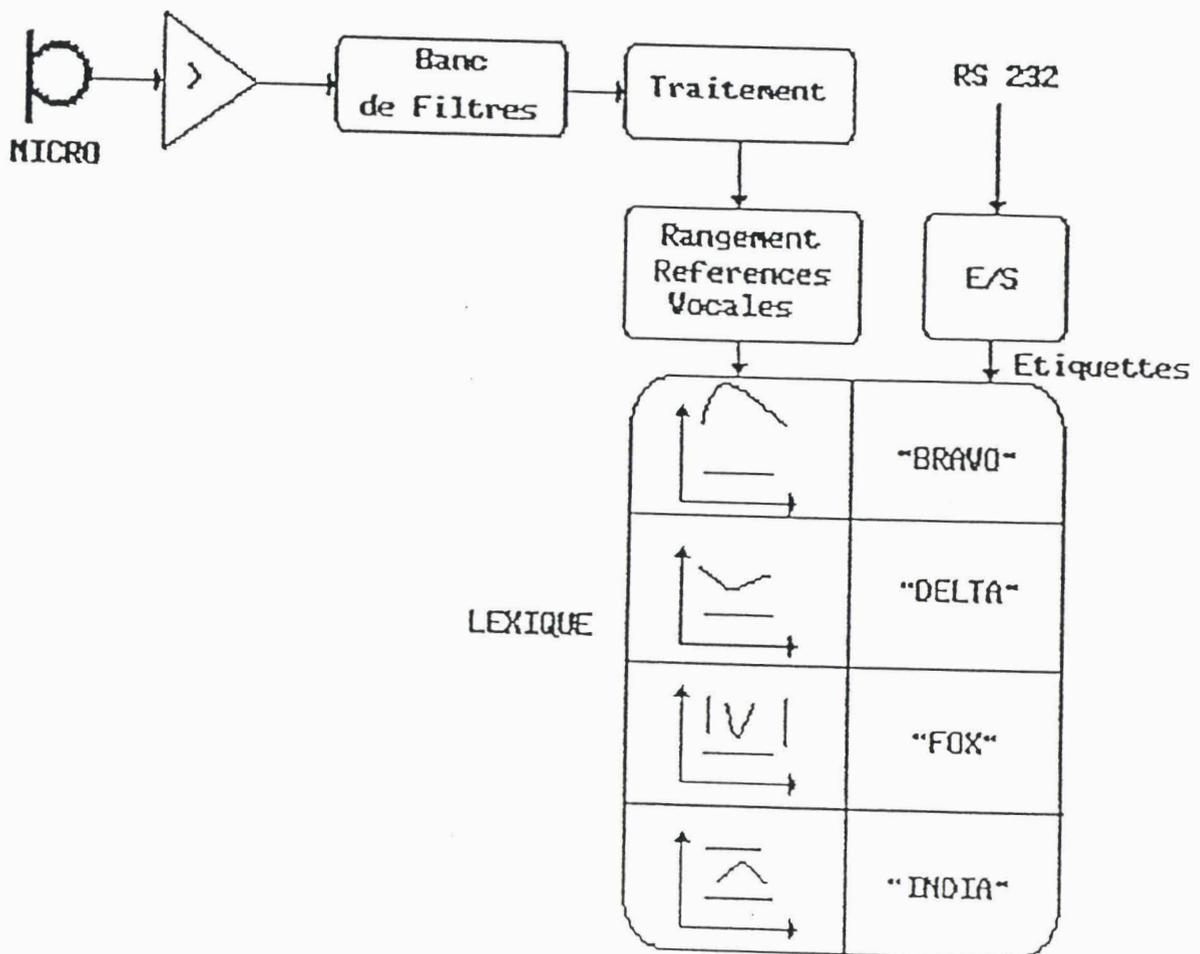


Figure IV-4a Phase d'APPRENTISSAGE

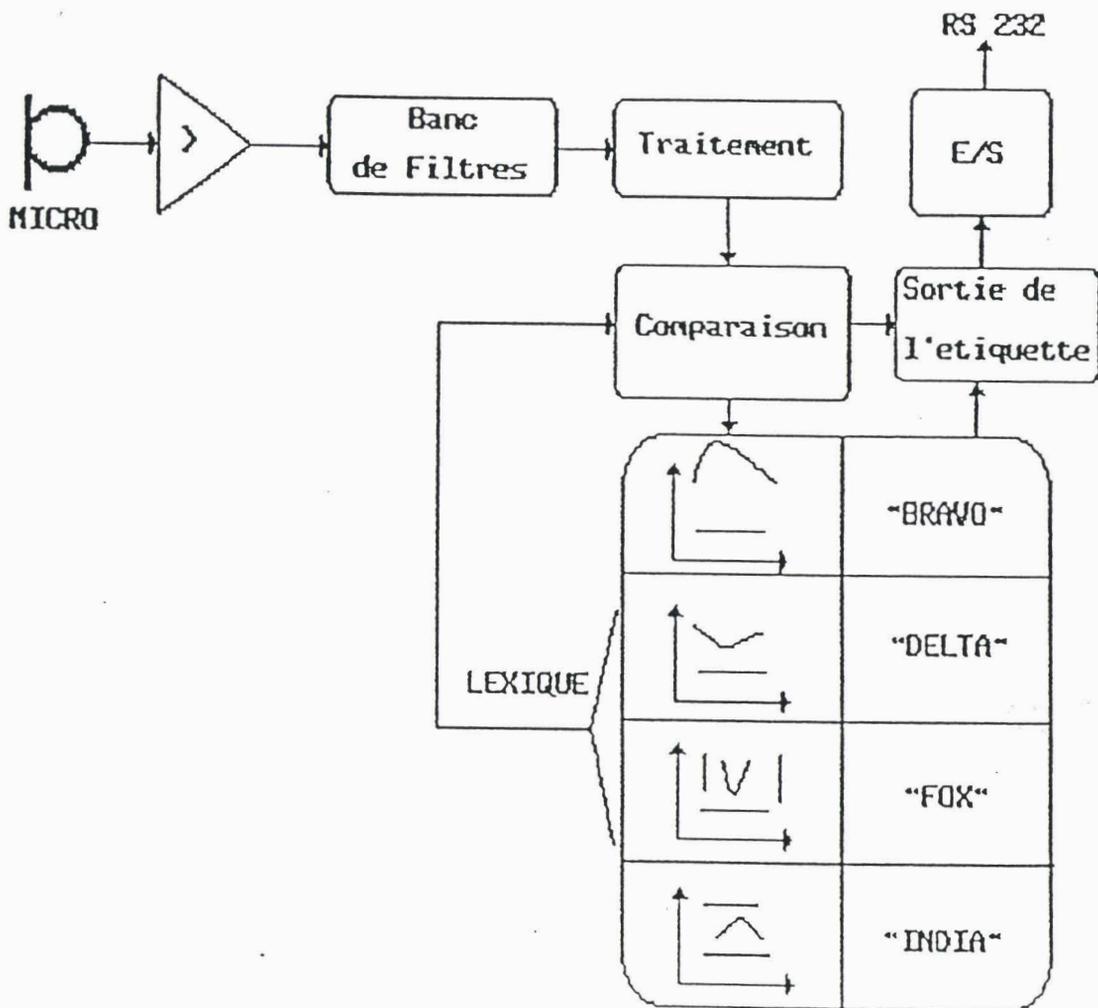


Figure IV-4b Phase de RECONNAISSANCE

b) Phase de reconnaissance

Lors de la phase de reconnaissance, la carte fonctionne selon le même principe, à la différence, qu'elle ne range pas en mémoire les références, mais procède à une comparaison avec toutes les références acquises à l'apprentissage.

Selon des critères de test, rejet . . . , elle renvoie le résultat qui peut être soit le numéro de mot reconnu, soit l'étiquette relative. Diverses possibilités améliorant la reconnaissance (syntaxe, paramètres de rejection...) ou facilitant le travail de l'utilisateur (sauvegarde, chargement) sont disponibles (c.f. § commande en annexe 2)

IV-3-1-2 FIABILITE-ETUDES-RESULTATS

La fiabilité de la carte de reconnaissance devrait approcher au mieux les 100%. La valeur nominale annoncé par VECSYS (> 99%) est séduisante, mais n'est effective que dans des conditions d'emploi optimales (milieu d'apprentissage et de reconnaissance totalement isolé du bruit, locuteur entraîné à la diction).

Selon les conditions réelles d'emploi sur le site expérimental, on assiste à une dégradation du taux de reconnaissance; il est donc intéressant d'étudier le comportement de la carte et de réunir dans la mesure du possible, le maximum de conditions favorables à l'optimisation du taux de reconnaissance.

Plusieurs règles tendant à cet effet, peuvent être utilisées:

-La segmentation du vocabulaire de commande en sous-vocabulaires spécifiques de chaque phase de commande, basé sur la méthode des series minimales [GUE 83].

-Obtention d'une bonne prononciation de l'opérateur. Un certain entraînement est favorable à de bon résultats: le locuteur entraîné doit parler de manière reproductible en vitesse, intensité, timbre et articulation.

-Utilisation des possibilités de masquage offertes par la carte de reconnaissance, lorsque le vocabulaire est trop important (voir annexe 2).

-Doublé dans la mesure du possible, les références des mots: on stocke plusieurs références en mémoire avec la même étiquette.

IV-3-1-3 COMMANDE DU MICROMANIPULATEUR PAR LA PAROLE

L'intérêt principal d'une telle commande est de permettre à l'opérateur d'exécuter plusieurs tâches simultanément.

La réalisation de l'interface de commande a nécessité le matériel suivant: (figure IV-5)

- Un ordinateur Apple II;
- Une carte de reconnaissance vocale RMI 88;
- Une carte de synthèse vocale SVT 02 (pour le retour informationnel);
- Deux cartes de liaison série;
- L'organe esclave (micromanipulateur).

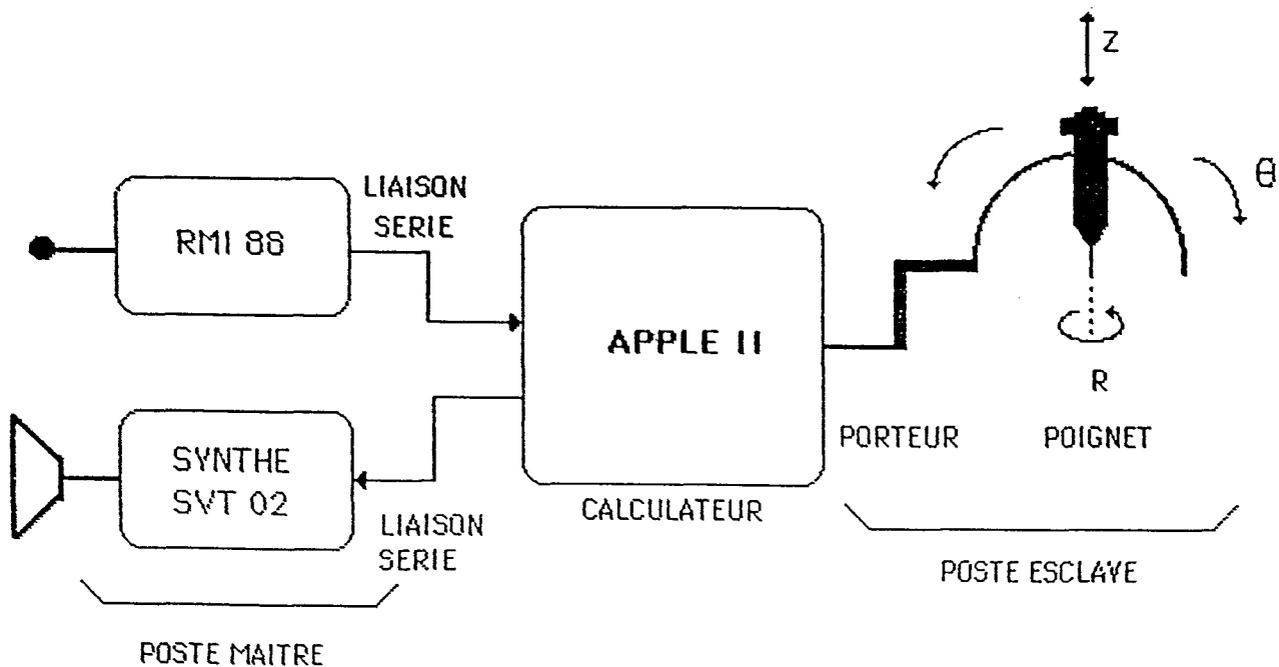


Figure IV-5: Synoptique de la commande vocale réalisée

1-LOGICIEL DE COMMANDE

Le programme réalisé permet de commander les trois axes (R,Z,Ø) du poignet.

Le dialogue H/M se fait d'une façon interactive: après compilation du programme, toutes les procédures d'exécution nécessaires, sont signalées à l'opérateur par synthèse vocale; sauf pendant la phase de reconnaissance afin d'éviter toute erreur de confusion, le retour informationnel se fait par affichage sur l'écran.

Pour les mobilités de chaque axe, nous avons définis des mots familiers tels que:

- HAUT : translation selon l'axe Z dans le sens positif
- BAS : translation selon l'axe Z dans le sens négatif
- A.T. : arrêt de la translation
- DROITE : rotation de l'outil dans le sens $R>0$
- GAUCHE: rotation de l'outil dans le sens $R<0$
- A.ROT. : arrêt de la rotation
- AVANCE: translation selon l'axe circulaire $\emptyset>0$
- RECULE : translation selon l'axe circulaire $\emptyset<0$
- A.TETA : arrêt de la translation selon l'axe Ø
- STOP : arrêt de tous les axes.

A partir de ces mots définis, on peut réaliser plusieurs mouvements combinés. (c.f. annexe 2 pour le protocole de liaison)

2-PRINCIPE D'UTILISATION

Comme indiqué au § IV-5-1-1, le dialogue se fait en deux phases:

1)- pendant la phase d'apprentissage, l'opérateur prononce tous les mots de commande devant le micro, l'un après l'autre. Pour chaque mot introduit, la carte de reconnaissance renvoie une note d'appréciation N.

Avec $N = 0, 1, 2, \dots, 7$ tel que:

$N=0$ si le mot est pris en compte

$N \neq 0$ si le mot est refusé (trop long, trop court ...).

Ce retour informationnel permet à l'opérateur de répéter les mots qui ne sont pas pris en compte, afin d'augmenter le taux de reconnaissance.

2)- Phase de reconnaissance: pendant cette phase, l'opérateur prononce les mots nécessaires à la commande de (des) axe(s) qu'il désire déplacer. Si les mots prononcés sont reconnus (par comparaison avec les mots introduits en phase d'apprentissage), le système "obeit", sinon l'ordre est rejeté.

3-AVANTAGES ET INCONVENIENTS

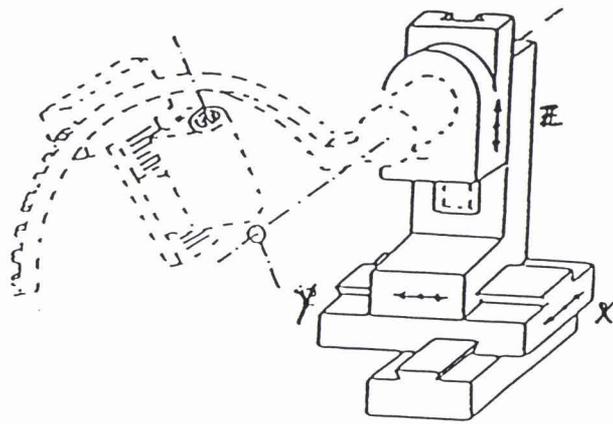
- La commande ainsi élaborée présente l'avantage de pouvoir exécuter plusieurs tâches à la fois (déplacer plusieurs axes);
- facilite l'émission d'un ordre (il est plus facile de prononcer un mot que de le taper au clavier);
- dégage l'homme de certaines tâches manuelles.

Cependant elle reste limitée au niveau de la fiabilité et surtout au niveau de la vitesse d'exécution. Mais elle peut être utilisée pour des tâches annexes qui ne nécessitent pas beaucoup de précision.

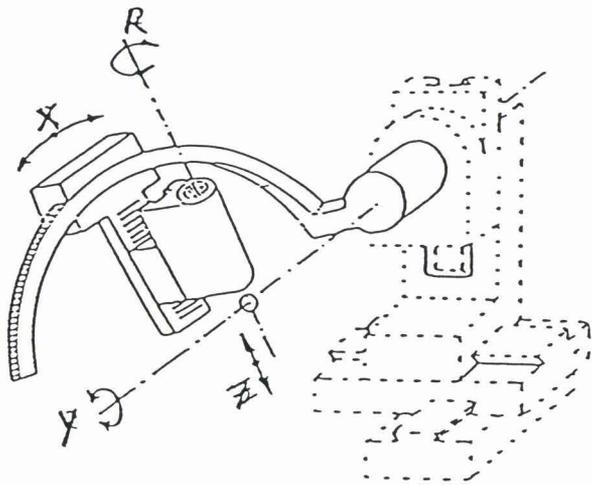
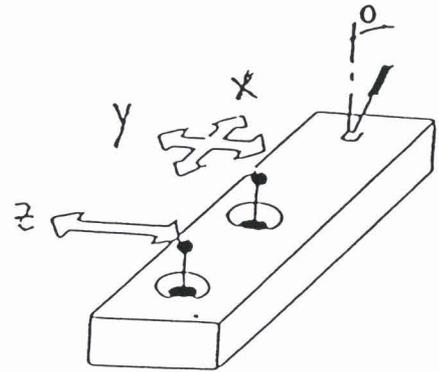
IV-3-2 CONSOLE MANUELLE UTILISEE

La console manuelle utilisée décrite par la figure IV-6, est munie de deux manches (X-Y et Z-R) permettant la commande des mobilités du porteur ou de celles du poignet. Un commutateur est placé sur cette console, il sert à découpler le bloc commandé (porteur ou poignet) du bloc devant rester immobile.

Remarque: une console manuelle munie de plusieurs manches peut contribuer à une augmentation de la charge mentale de l'opérateur, de ce fait une nouvelle version contenant un seul manche est en cours de réalisation.



a) commande du porteur



b) commande du poignet

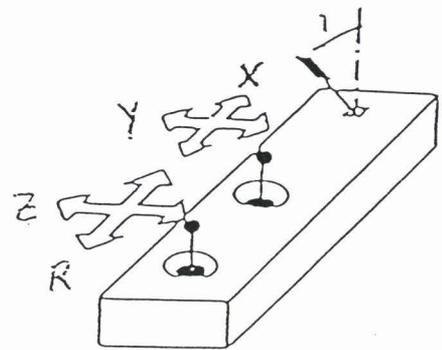


Figure IV-6: Description de la console manuelle

IV-3-2-1 VARIABLES D'ENTREE/SORTIE

La grandeur d'entrée de cette organe, peut prendre la forme d'un déplacement ou d'un effort. Le premier est utilisé lorsque les mouvements du système esclave doivent être précis, le second étant plutôt réservé aux grands déplacements rapides.

La grandeur de sortie (grandeur attachée à l'esclave) qui est affectée par la position ou l'effort sur l'organe maître est, soit la position, soit la vitesse.

IV-3-2-2 COMMANDE DU MICROMANIPULATEUR PAR CONSOLE MANUELLE

Le synoptique de la commande est donné en figure IV-7.

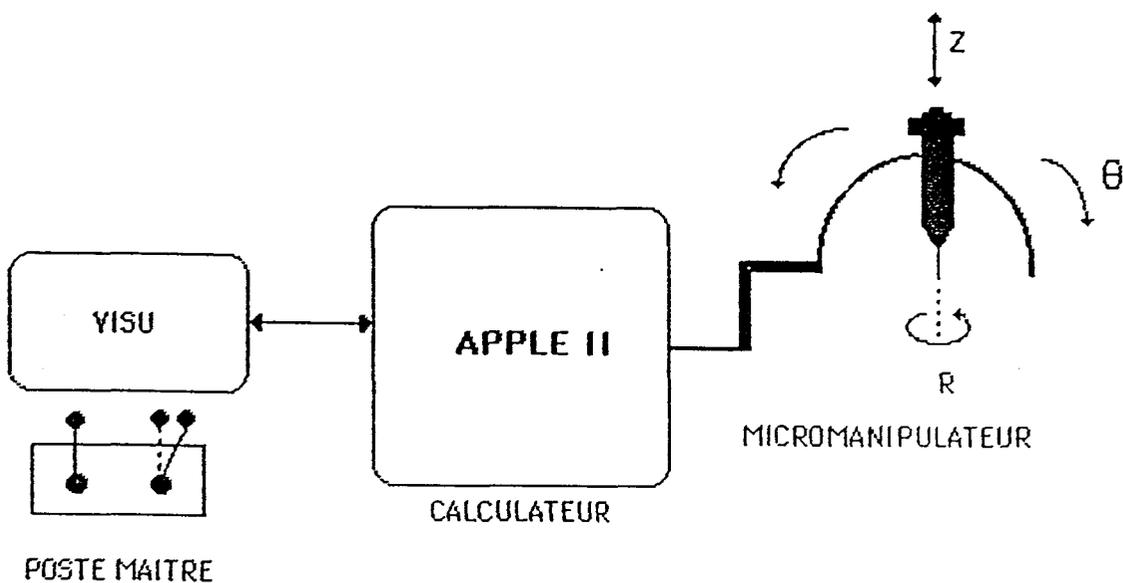


Figure IV-7: Commande du Micromanipulateur à l'aide de la console manuelle

La commande adoptée est la commande en position-vitesse. Les amplitudes des mouvements à engendrer sur le manche sont faibles et permettent aux poignets de l'opérateur de rester fixes.

Vitesses autorisées

Les vitesses maximales autorisées au déplacement des différentes mobilités du système esclave sont:

-Positionnement du poignet	(TP_x , TP_y , TP_z)	: 10mm/s
-Orientation du poignet	(R_x , R_y)	: 12°/s
-Translation axiale du vitréotome (T_z)		: 1 mm/s
-Rotation axiale de l'instrument (R_z)		: 60°/s

IV-3-2-3 CONTRAINTES D'UTILISATION

L'utilisation de la console manuelle présente l'avantage d'être "maniable": l'opérateur a la sensation de commander directement le micromanipulateur. Cependant elle présente un inconvénient dans le cas d'un couplage non désiré: les axes X et Y étant commandés par le même manche, engendrent un déplacement composé. De plus, l'opérateur doit accomplir un effort mental pour engendrer le mouvement. Cet effort disparaît après un certain temps d'entraînement.

IV-3-3 COMMANDE DU MICROMANIPULATEUR PAR LA SOURIS

La figure IV-8, donne le synoptique de la commande réalisée.

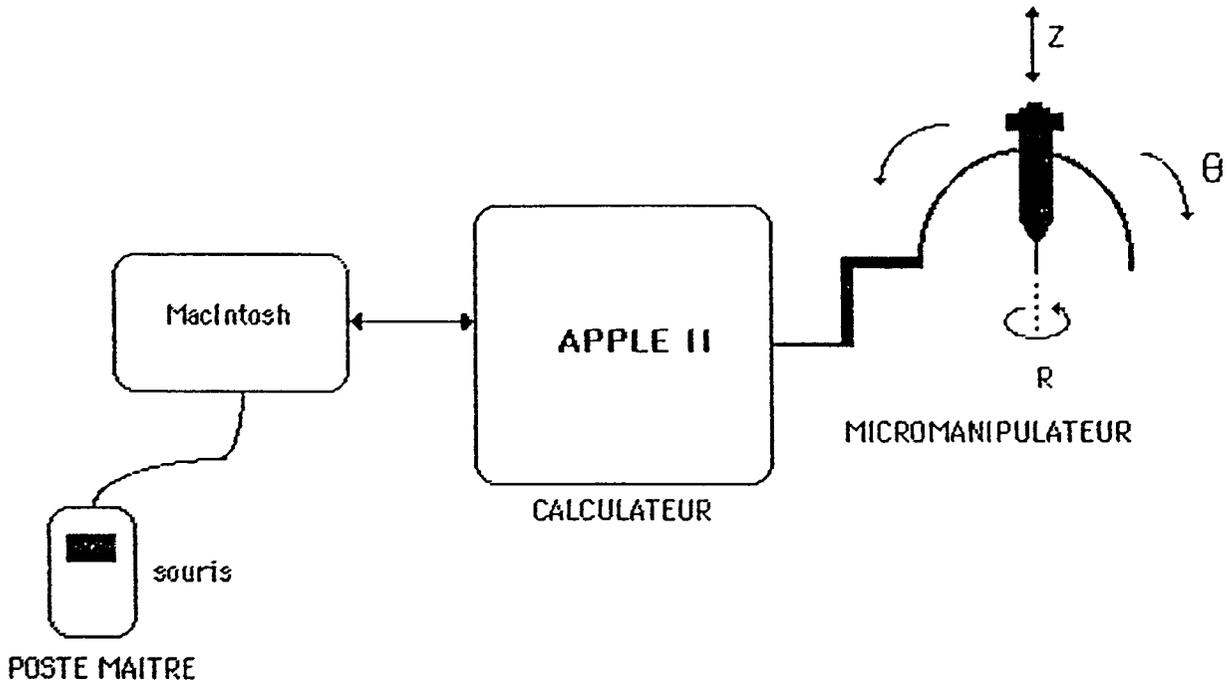


Figure IV-8: Commande du Micromanipulateur à l'aide de la souris

Le but d'une telle commande consiste à faire apparaître sur l'écran toutes sortes d'images dont la sélection par le dispositif de pointage (souris) déclenche une action sur la machine.

La communication H/M était le plus souvent réduite à la frappe de caractères pour ce qui est du sens H--->M, et à l'affichage de caractères dans l'autre sens. Par l'introduction du Macintosh qui possède la notion de barre de menus, on se trouve devant un véritable " tableau de bord " , affichant en permanence, horizontalement en haut de l'écran, une liste de chaîne de caractères. La sélection d'une de ces chaînes entraîne l'apparition d'un menu au sens " fugitif " (disparaît après sélection) figure IV-9.

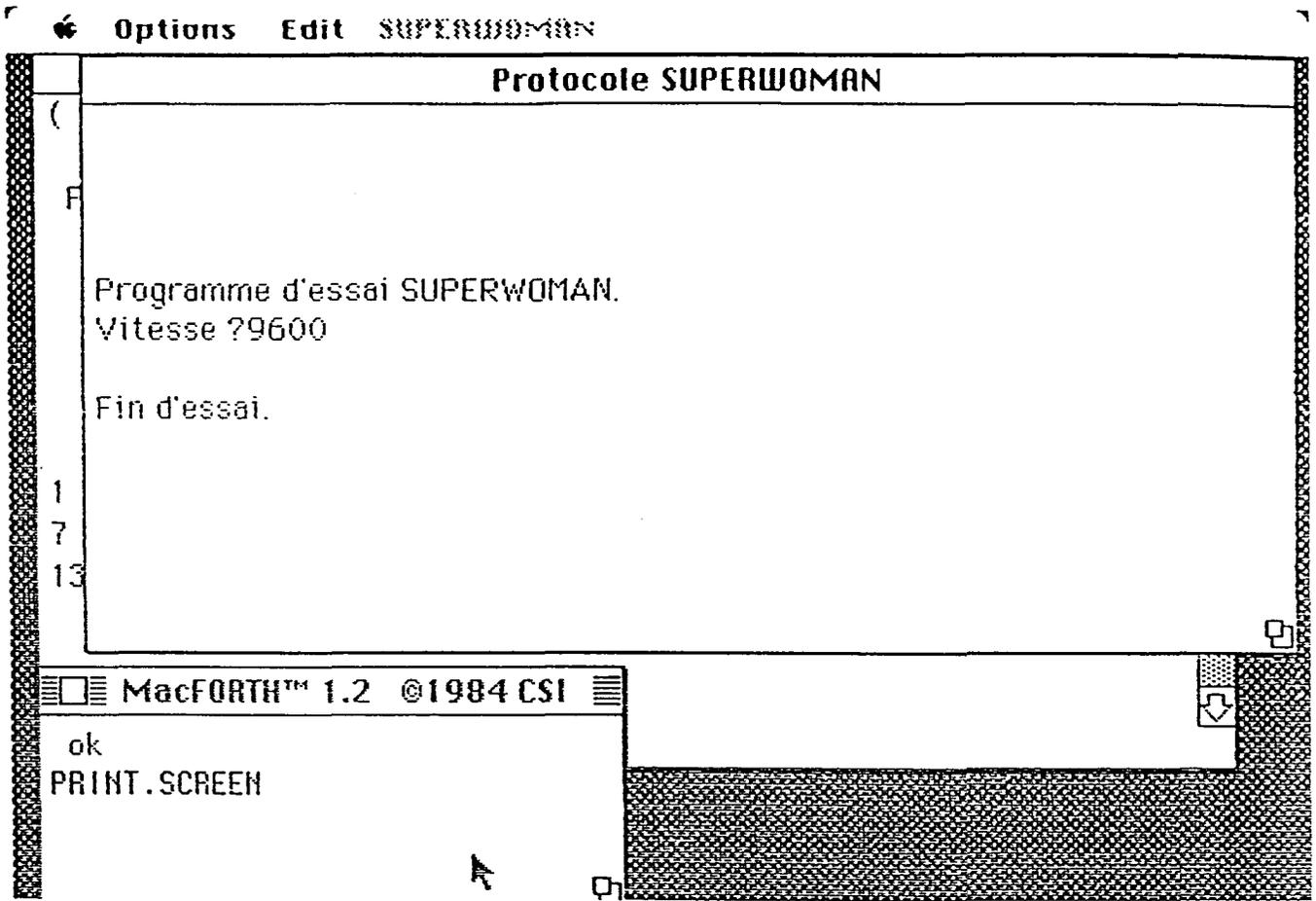


Figure IV-9: Les menus de SUPERWOMAN

IV-3-3-1 REALISATION

Le programme réalisé dans le cadre de cette commande affiche en permanence sur la barre de menus:

1)- Un menu de configuration

Ce menu sélectionné par l'opérateur à l'aide de la souris, lui donne un choix de fonctions. Ces fonctions sont:

-**Initialisation:** cette fonction activée par la souris, établit un dialogue entre l'opérateur et l'Apple, à travers une fenêtre affichée sur le Macintosh.

-Emission: cette fonction activée par la souris, permet à l'opérateur d'émettre des messages à l'Apple sous formes de caractères introduits à partir du clavier.

-Reception: permet de recevoir des messages concernant l'évolution des mouvements du micromanipulateur, en provenance de l'Apple.

-Quitter: cette fonction permet à l'opérateur de sortir du menu.

2)- Un menu de consignes

Ce menu une fois sélectionné par l'opérateur à l'aide de la souris, lui donne également un choix de fonctions concernant les déplacements du micromanipulateur. Ces fonctions sont:

-Droite: cette fonction activée par la souris, engendre un déplacement du micromanipulateur vers le sens $X > 0$.

-Gauche: cette fonction activée par la souris, engendre un déplacement du micromanipulateur vers le sens $X < 0$.

-Quitter: pour sortir du menu.

IV-4-ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTS MOYENS DE DIALOGUE

Afin de comparer les propriétés de chaque moyen de commande, deux approches à priori peuvent être utilisées.

1)-Evaluation quantitative des performances

Cette méthode repose sur un protocole expérimental caractérisé par une série de tests permettant de chiffrer les performances de l'opérateur dans l'exécution d'une tâche. Les tâches peuvent être du type pointage, suivi de trajectoire, ... etc.

L'évaluation des performances consiste, soit à mesurer l'erreur de positionnement, soit à comparer une trajectoire programme [AUT 83].

2)-Etude statistique qualitative

On observe le comportement de 10 sujets soumis à chaque commande, et, en fonction de plusieurs critères, on définira, statistiquement, la commande la mieux adaptée.

Les deux approches sont complémentaires, néanmoins il est intéressant de noter que l'étude statistique qualitative est plus appropriée à la définition des caractéristiques propres à chaque commande.

IV-4-1-EXPERIMENTATION

L'expérience consiste à déplacer le bras esclave dans son espace de travail et de pointer une succession de petit cylindres repartis dans cet espace Fig. IV-10.

Chaque cylindre contient un microcontact. L'insertion de l'outil du bras esclave dans ce cylindre provoque un signal du microcontact qui va éteindre la led allumée au départ.

Les manipulations sont effectuées par 10 sujets, et, pour chaque mode de commande différent (commande par la parole, commande par Joystick, et, commande par la souris).

IV-4-2-DEFINITION DES CRITERES DE COMPARAISON

Trois critères qualitatifs nous semblent importants, il s'agit de:

- La maniabilité locale (environnement restreint);
- La souplesse d'utilisation des commandes (environnement plus large);
- La fatigue de l'opérateur.

L'ensemble de ces critères sont quantifiables par l'utilisation du paramètre "**Temps**".

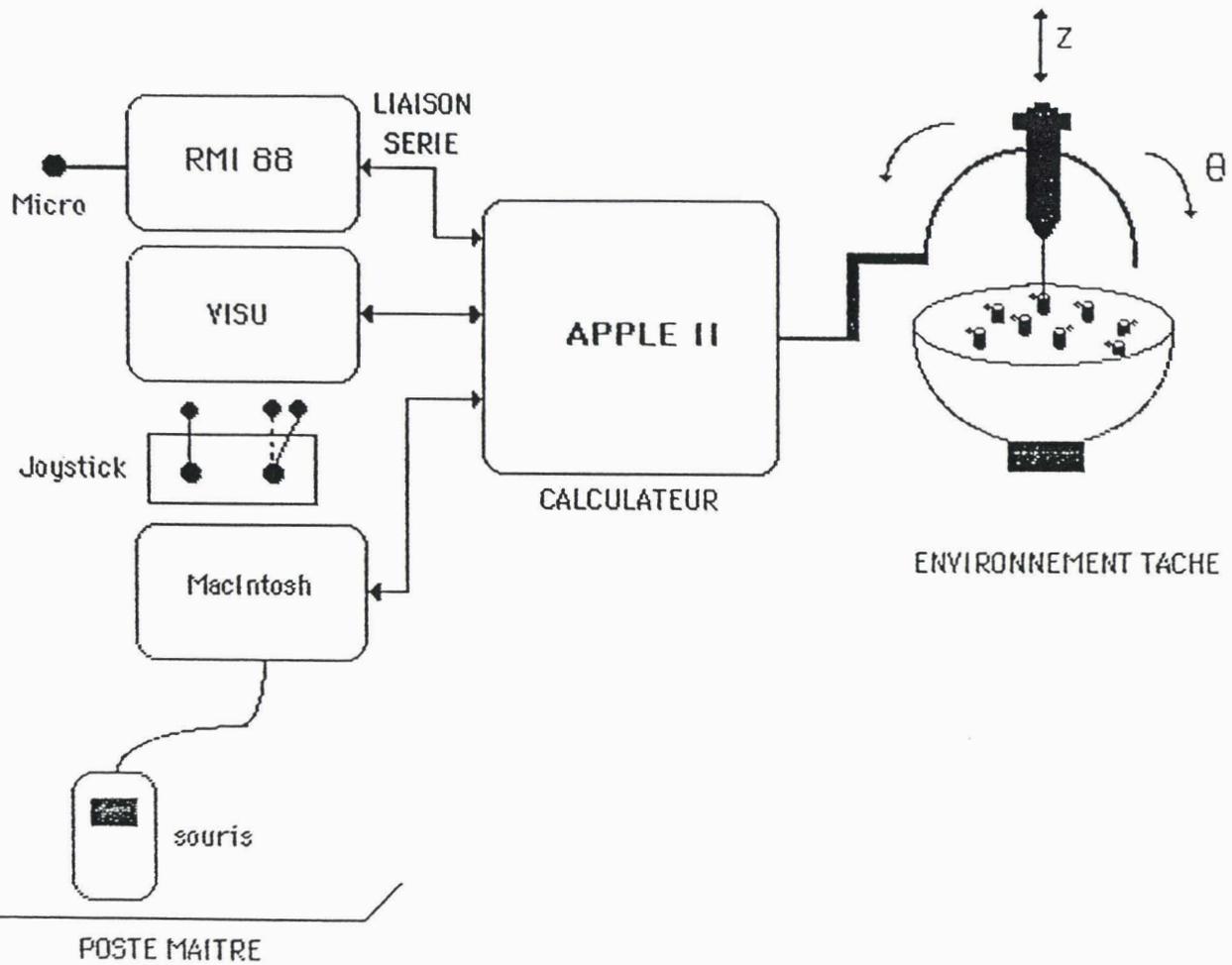


Figure IV-10: Description du dispositif expérimental concernant le critère Maniabilité

a)-Critère maniabilité locale

L'opérateur OP_i pointe successivement les huit cylindres C1, C2, C3, ... , C8, le temps étant comptabilisé depuis C1 jusqu'à C8.

Lorsque le mode de dialogue utilisé par l'opérateur (vocal, manuel, ...) conduit à une maniabilité suffisante, l'outil du micromanipulateur est positionné sans difficultés. Par contre, lorsque la maniabilité est insuffisante, plusieurs tentatives sont nécessaires avant de se positionner correctement. Le temps est donc un bon élément de mesure.

b)-Critère souplesse

L'opérateur déplace le porteur du point A au point B selon la trajectoire imposée Fig. IV-11. Le temps d'exécution de cette tâche est d'autant plus court que les commandes du micromanipulateur sont exécutées avec aisance et souplesse. Donc le temps d'exécution définit la souplesse du moyen de dialogue utilisé pour effectuer la tâche.

c)-Critère fatigue de l'opérateur

Le paramètre temps au cours duquel l'opérateur doit renouveler n fois le pointage des cylindres et n fois le suivi de trajectoire permet d'évaluer le critère fatigue. n=5 (5 cycles insertion tige, puis 5 cycles suivi de trajectoire).

IV-4-3-MESURES

Une évaluation temporelle des critères: maniabilité locale, souplesse, fatigue de l'opérateur, est effectuée pour les trois type de commande sur l'ensemble des sujets expérimentés.

$$M_j(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} t_{m_{ij}} \quad : \text{Maniabilité}$$

avec : $t_{m_{ij}}$: le temps d'exécution en seconde de la manipulation "Maniabilité" par le sujet i.

n : nombre de sujets soumis à chaque type de manipulation et chaque type de mode de dialogue = 10.

$j = \{ \text{Joystick, vocal, souris} \}$.

$$S_j(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} t_{s_{ij}} \quad : \text{Souplesse}$$

avec : $t_{s_{ij}}$ le temps d'exécution en seconde de la manipulation "Souplesse" par le sujet i et le mode de dialogue j.

$$F_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} f_i(t)}{5 |M_j(t) + S_j(t)|} \quad : \text{Coefficient Fatigue}$$

avec $f_i(t) = |t_{m_i}(t) + t_{s_i}(t)|$ le temps d'exécution en secondes de 5 cycles successifs de la manipulation "Maniabilité, suivis de 5 cycles successifs de la manipulation "Souplesse".

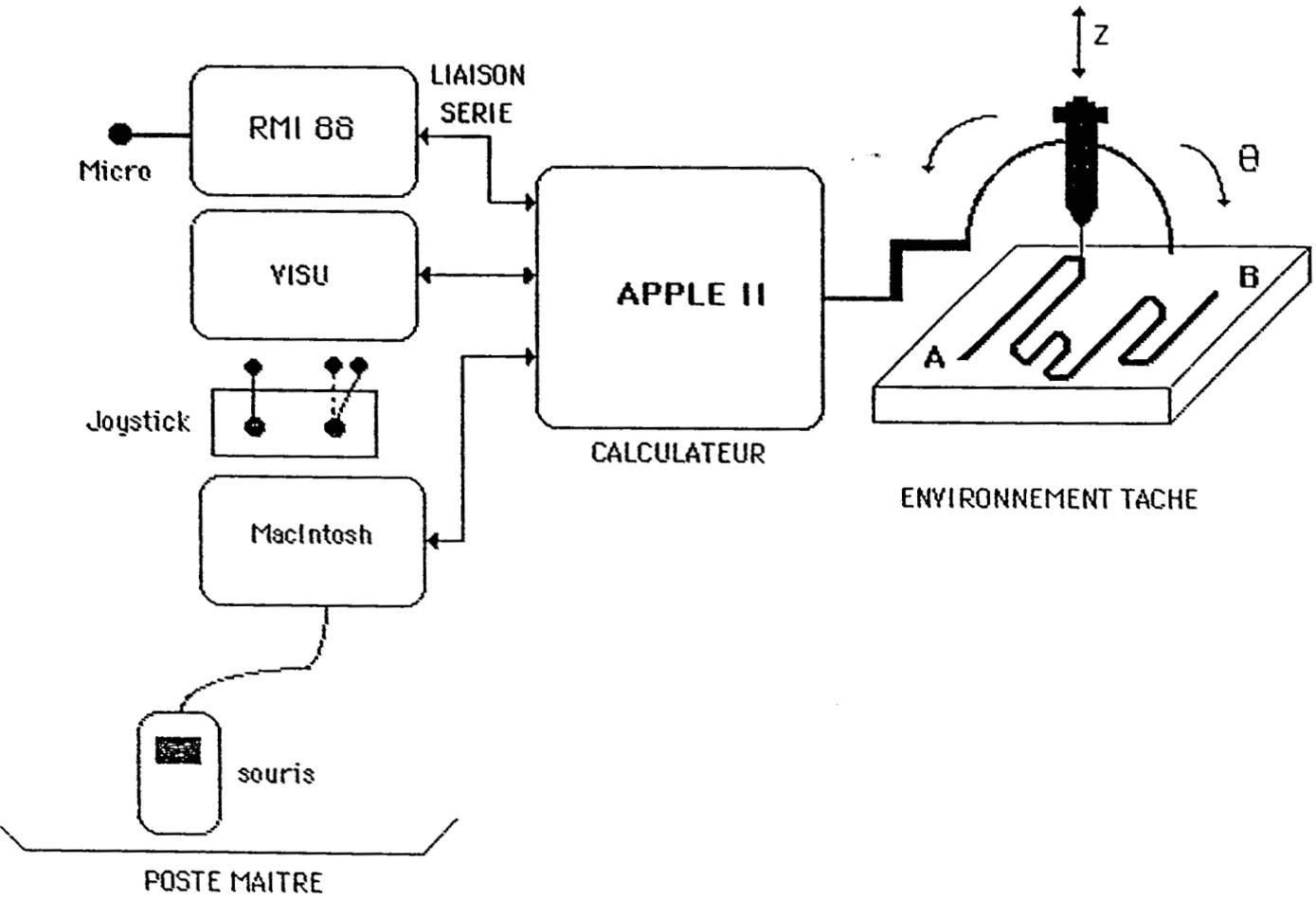


Figure IV-11: Description du dispositif expérimental concernant le critère Souplesse



Les résultats sont résumés sur le tableau IV-1

Moyens de dialogue Critères	Commande Vocale	Commande Joystick	Commande Souris
Maniabilité Locale M_j (t) sec.	371,58	205,93	262,04
Souplesse S_j (t) sec.	203,02	105,29	96,73
Fatigue F_j	1,03	1,14	1,30

Tableau IV-1: Etude comparative des différents modes de dialogue

IV-4-4-BILAN

L'étude comparative entreprise ici a permis d'analyser d'un point de vue général, les avantages et les inconvénients des différents modes de commande.

Si l'on se reporte au tableau IV-1, on peut mettre en évidence les propriétés suivantes:

1)- Pour le critère maniabilité locale, la commande par Joystick présente un temps d'exécution relativement faible par rapport aux autres types de commande (commande par la souris, commande vocale). Nous pouvons conclure alors que la commande par joystick est maniable.

2)- Pour le critère souplesse, le temps d'exécution de la tâche effectuée à l'aide de la souris est le plus faible, nous pouvons dire alors, que la commande par la souris est souple.

3)- Les performances pour une moindre fatigue sont globalement meilleures avec la commande vocale compte-tenu du faible coefficient de fatigue F_j qu'elle représente ($F_j=1,03$ au lieu de 1,14 ou 1,30).

IV-5- CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons tout d'abord essayé de mettre en évidence les facteurs qui peuvent contribuer à une dégradation de la qualité de la tâche globale: tels que le niveau d'expérience de l'opérateur et/ou sa fatigue. D'autre part, comment les moyens de dialogues peuvent également causer un mauvais transfert d'information.

Plusieurs modes de dialogues ont été proposés et testés afin de déterminer le moyen le plus souple ou/et le plus maniable pour exécuter une tâche microchirurgicale type. Ce qui a permis dans un premier temps de définir les objectifs du modèle SUPERWOMAN tels que l'optimisation de l'interaction H/M ou plus exactement l'aide à la décision. Cependant, lorsqu'on cherche à optimiser la forme sous laquelle, toute information doit être présentée, deux facteurs doivent être pris en compte:

- Le premier concerne sa facilité d'assimilation;
- le second concerne le temps dont l'opérateur dispose, entre le moment où l'information lui parvient, et, le moment où il doit prendre une décision ou agir. Plus ce temps est court, plus l'information doit être synthétique, globale, agrégée car il n'aura pas le temps d'effectuer des corrélations, des calculs longs, . . .

Il s'agit donc d'étudier les meilleurs modes de représentation pour chaque situation. Cette partie fait l'objet du chapitre V.

CHAPITRE V

**MISE EN OEUVRE DE SUPERWOMAN
SUR LE SITE T.A.O. ET
EVALUATION DES PERFORMANCES
HOMME/TELEOPERATEUR**

V-1-INTRODUCTION

L'étude comparative des différents modes de dialogue entreprise dans le chapitre précédent, montre que chacun de ces modes est d'un intérêt non négligeable sur la performance globale d'une tâche. Cependant le plus important reste le choix de la bonne décision à un instant donné.

Il convient alors de définir une interface de dialogue entre l'opérateur et le calculateur qui serait capable de minimiser le coût d'une décision prise hâtivement à cause: d'un débit d'information très important, ou d'une information jugée inutile ou encore d'une surcharge de l'opérateur. Pour cela une évaluation en ligne de l'état de l'opérateur semble être justifiée. Ce qui va permettre la sélection des meilleurs modes de présentation d'information, ainsi que les fonctions d'assistances telles que le blocage des degrés de liberté du manipulateur, suppression de poids, . . . etc.

Dans cet objectif nous présenterons dans ce chapitre la mise en oeuvre et l'évaluation du modèle SUPERWOMAN sur le site T.A.O.

IV-2-ARCHITECTURE DU SITE EXPERIMENTAL T.A.O.

1)-Structure du système

Les principaux éléments constituant le système T.A.O. sont cités ci-dessous Figure V-1:

a)-Systèmes d'intervention

- Un manipulateur esclave MA23;
- un bras maître nucléaire MA23;
- un mini bras maître universel à retour d'effort.

b)-Dispositifs de perception

- Systèmes de retour visuel (cameras TV automatiques, une camera asservie P3 pour suivre les mouvements de l'effecteur, des microcameras intégrées aux équipements, . . .)

- système modulaire multicapteurs, comprenant des capteurs de proximité (ultrasons, infrarouges, magnétiques) et un capteur effort-couple P2.

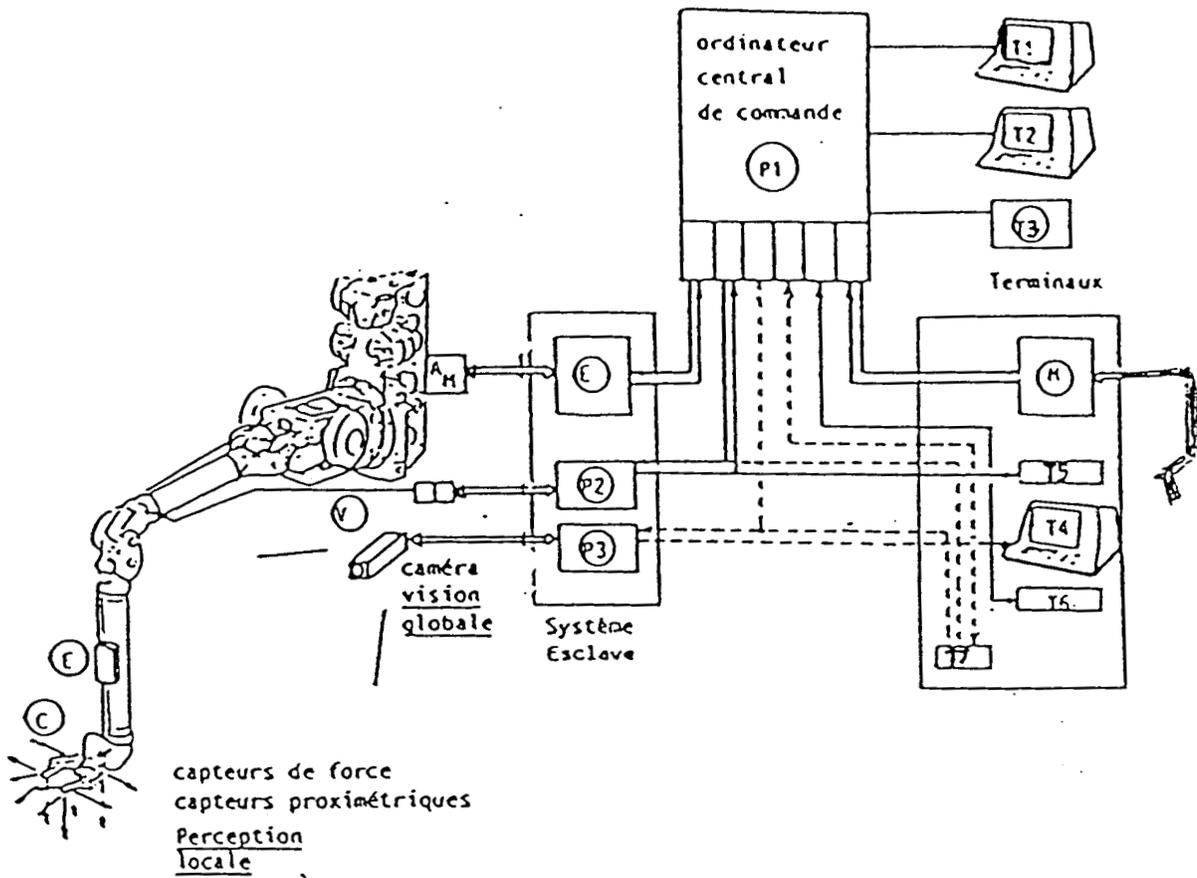


Figure V-1: Architecture du site expérimental T.A.O.

c)-Systeme de contrôle et de gestion temps réel

Il est implanté sur un réseau multiprocesseur comprenant deux niveaux hiérarchiques principaux:

- Le premier niveau est dédié à la commande généralisée maître-esclave, à une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz [ARA 86].

- Le second niveau est le contrôle superviseur [GRA 88].

d)-Des interfaces Homme/Machine

- Affichages vidéo et graphique (T4,T5);
- projection vidéo, restitution vidéo 3D (T1);
- vision artificielle (T2);
- reconnaissance et synthèse vocale (T6, T7).

2-Ensemble des fonctions à assurer par l'opérateur en T.A.O.

Le nombre des informations et actions à gérer est très important. L'opérateur doit:

- Contrôler les mouvements du bras
(et éventuellement ceux du porteur);
- introduire les ordres d'évolution dans le graphe d'état;
- introduire les paramètres d'exécution;
- commander les caméras;
- assurer la surveillance du système:
 - * Surveillance des collisions (du bras, du porteur),
 - * Surveillance du déroulement des tâches automatiques,
 - * Traitement des alarmes.
- gérer l'affichage de l'ensemble des informations:
 - * Caméra vidéo,
 - * Caméra d'ambiance,
 - * Vision synthétique,
 - * Représentation des efforts exercés,
 - * Représentation des graphes d'action.

Cette liste n'est pas exhaustive, mais permet de dégager un aperçu sur le nombre important des fonctions à assurer par l'opérateur. De ce fait, nous étions amené à proposer un poste de travail tenu par deux opérateurs (idée tirée du pilote/co-pilote) Figure V-2a:

- Un opérateur "de gestion",
- un opérateur "d'exécution" [GUE -LEP 88]

V-2-1-REPARTITION DES FONCTIONS ENTRE LES DEUX OPERATEURS

Les rôles des deux opérateurs sont répartis comme suit:

1- OPERATEUR D'EXECUTION

- Contrôle des mouvements du bras,
- introduction des ordres d'évolution dans le graphe d'état.

2- OPERATEUR DE GESTION

- Configuration du système,
- présentation des informations à l'opérateur d'exécution,
- surveillance du système et traitement des alarmes,
- passage de paramètres,
- commande des caméras.

Cette répartition résulte de contraintes attachées à la liberté de mouvement de l'opérateur d'exécution, qui se trouve placé en face de l'écran géant et qui manipule le bras maître.

Une conception analogue concernant le poste de travail dans le cadre médical a été proposée [GUE 86]. Figure V-2b

V-2-2-SELECTION ET LANCEMENT DES ACTIONS

Selon l'importance de l'action, la sélection de cette dernière est effectuée soit par l'opérateur de gestion, soit par l'opérateur d'exécution.

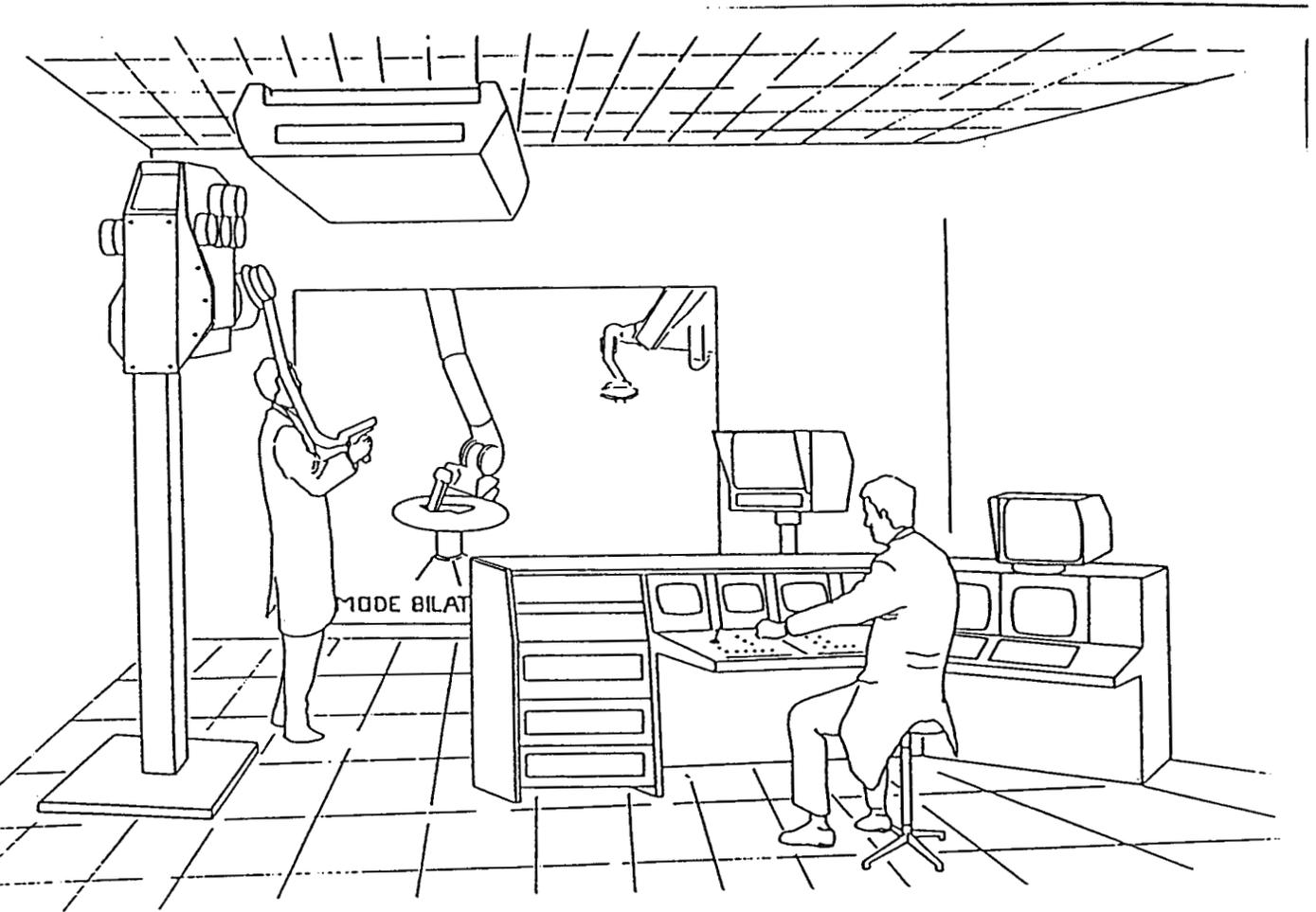


Figure V-2a: Le poste maître

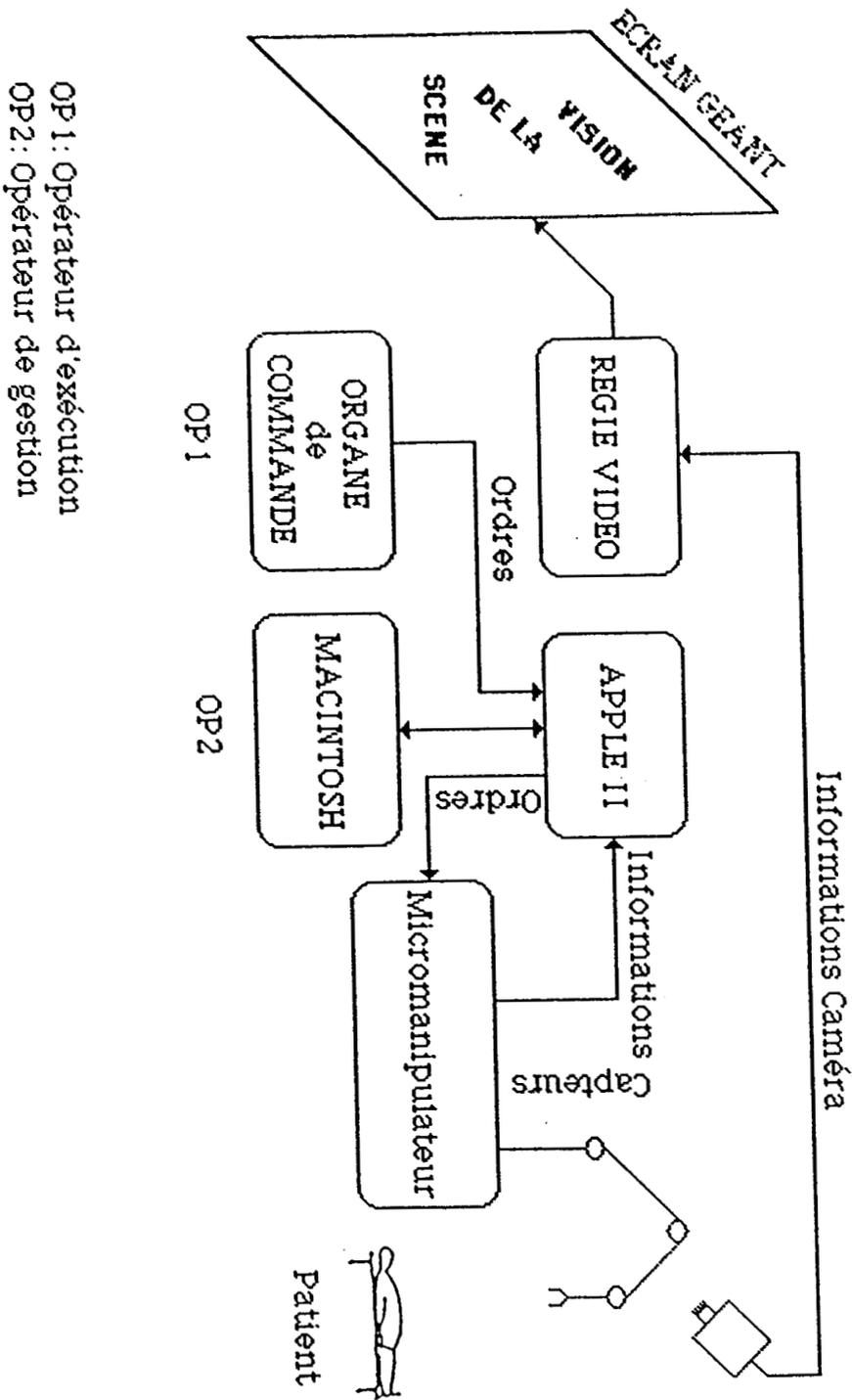


Figure V-2b: Le poste de travail

Ainsi, si les actions sont importantes (choix de scénario, choix des différentes phases d'un scénario, choix des actions futures), elles sont sélectionnées par l'opérateur de gestion. Cependant lorsque des choix et des enchaînements devront s'effectuer rapidement, c'est à l'opérateur d'exécution qu'ils sont dédiés, (bien entendu, dans ce cas le choix est relativement limité). Toute fois un "filtrage" des informations gérées par le poste de contrôle, qui devrait permettre de ne distribuer que les informations utiles s'avère nécessaire.

V-3-GESTION DU RETOUR INFORMATIONNEL DANS SUPERWOMAN

Les informations relatives au fonctionnement de la machine, sont présentées à l'opérateur de gestion, une partie d'entre elles étant transmises à l'opérateur d'exécution.

Afin d'augmenter le taux de perception K_p nous avons implanté un système multifenêtres sur Macintosh [GUE 86].

Le dialogue repose sur l'affichage de fenêtres superposées contenant des messages produits par le système et des menus avec plusieurs éléments sélectionnés par une souris.

Les fenêtres proposées concernent:

- le choix des enchaînements à exécuter,
- un "panneau de contrôle" qui permet à l'opérateur de superviser les évolutions dans le réseau,
- la sélection d'étapes intermédiaires,
- la gestion en ligne des paramètres.

En ce qui concerne le panneau de contrôle, l'analyse des informations à afficher permet de distinguer les classes suivantes:

-Ensemble d'informations montrant à l'opérateur les fonctions du mode impliqué et spécifiant par exemple le rôle des commutateurs et le type de commande affecté à chaque degré de liberté.

-Historique du mode qui rassemble les messages adressés par le système de commande bilatéral généralisé, comme "fin de recalage", "réglage mécanique" ou "fin de mode sur position inatteignable", et permet aux opérateurs de suivre l'évolution qui s'effectue selon les aspects particulier de l'espace de travail.

-Objectif du mode qui spécifie à l'opérateur d'exécution le but du mode local dans le cadre d'un mode global.

-Historique de l'action, rendant possible de suivre le chemin parcouru à travers les différents niveaux hierarchiques d'un enchainement.

-Option, cette classe d'information concerne le contenu du menu d'évolution.

V-3-1-DESCRIPTION DU PANNEAU DE CONTROLE

Le panneau de contrôle est divisé en quatre zones FigureV-3:

- La barre du menu qui permet l'accès au menu de configuration;

- la fenêtre "historique action" dont le titre est le nom du mode en cours;

- la fenêtre "historique mode", affichant le nom du mode en cours et les messages relatifs à son évolution;

- la fenêtre "menu d'évolution" qui, avec celle des "conditions de fin de mode", couvrent la fenêtre précédente chaque fois qu'un rapport de fin de mode est envoyé. Pendant les transitions automatiques, seule la fenêtre de condition de fin de mode est affichée.

REMARQUE: Toutes les fenêtres, citées ci-dessus, ne sont pas activées simultanément, mais une par une. Ainsi, si la fenêtre "historique mode" est cachée par les fenêtres "menu d'évolution" et "conditions de fin de mode"; lorsqu'un message concernant l'historique du mode est envoyé par superwoman, celui-ci active la fenêtre concernée et c'est elle qui va apparaître sur l'écran portant les messages transmis (cf. annexe 3 pour le protocole de liaison).

Options Edit Serie Micro.

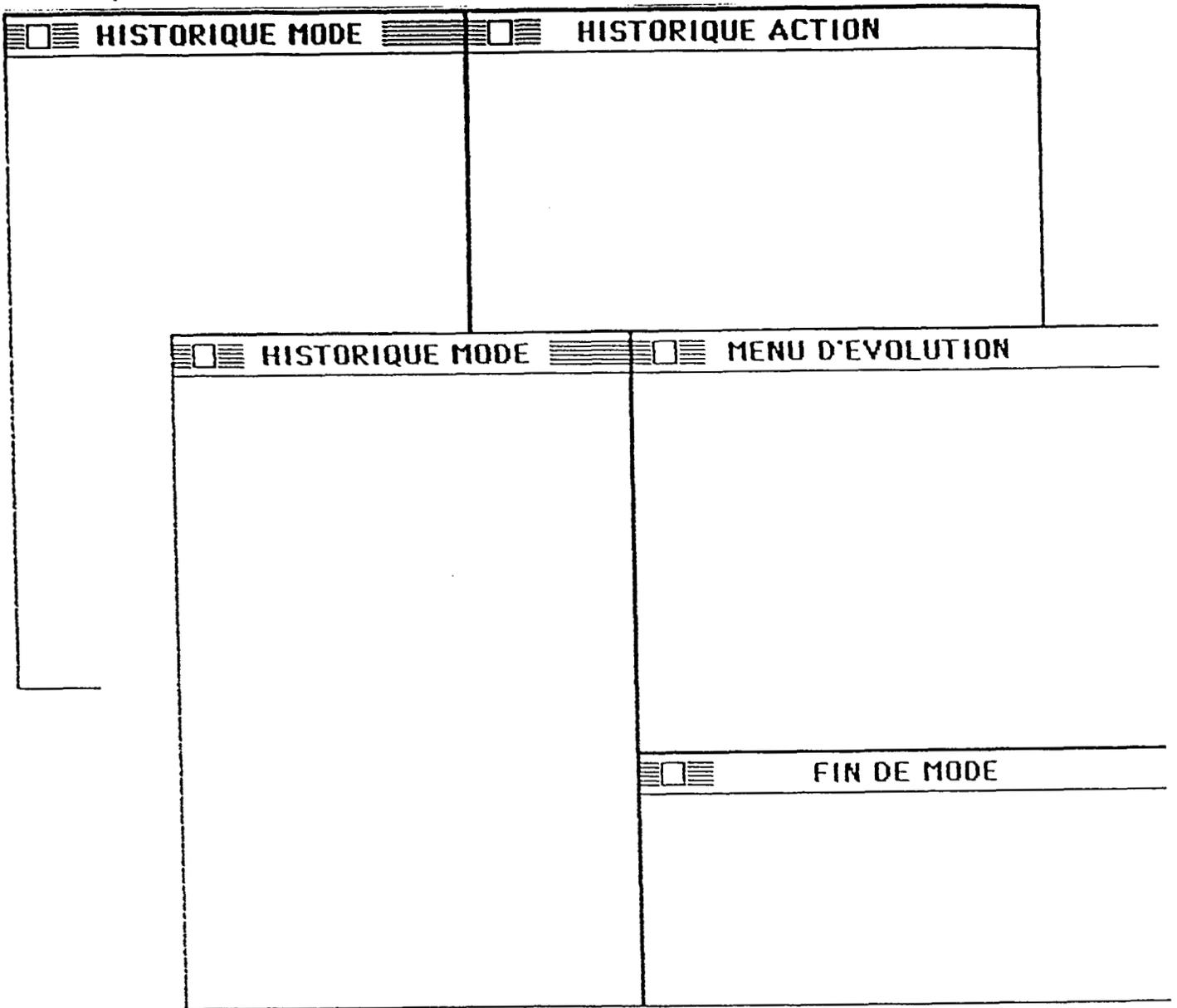


Figure V-3: Les fenêtres sur Macintosh

V-3-2-EXEMPLES D'OPERATIONS CONCERNEES PAR L'ACTE DE T.A.O.

Quelques applications type ont été sélectionnées selon les critères suivants:

1)- être représentative du point de vue du domaine d'application;

2)- être assez complexe pour mettre en évidence l'intérêt des fonctions T.A.O.;

3)- être assez simple pour être réalisée sur un seul site de démonstration.

Deux domaines ont été choisis afin d'illustrer les critères cités ci-dessus:

V-3-2-1-Le domaine nucléaire

Les applications choisies dans ce domaine sont:

1)- Opération d'inspection: Les tâches concernées comportent quelques fonctions de suivi de surface et de stéréovision rapprochée. Le mode de commande utilisé est le mode "mixte" [VER 84], qui combine des contraintes géométriques et des références capteurs.

2)- Opération de démantèlement: Les modes utilisés durant cette application, sont les modes semi-automatiques pour assister l'opérateur et le guider, tel que le "mode réflexe" [ARA 86], où une erreur référencée capteur génère un retour d'effort additionnel.

3)- Opération de maintenance: Deux types de tâches sont concernées par cette application:

- Percage programmé, qui nécessite une étape d'apprentissage, suivie d'une séquence de sous-tâches entièrement automatiques.

- Montage/démontage d'une vanne, qui montre l'intérêt d'une vision synthétique lorsque certaines zones sont masquées ou difficilement atteignables. Cet exemple nécessite également des sous tâches automatiques (ex. changement d'outil).

EXEMPLE DE DECOMPOSITION D'UNE TACHE

La figure V-4, donne un exemple de décomposition concernant une tâche de perçage multiple programmée.

La tâche est décrite de façon hiérarchique (du mode global au mode local) avec les états correspondants de commande généralisée Maître/Esclave et de retour généralisé d'information.

Les modes de commande exploitent à la fois des sous-tâches automatiques utilisant les points acquis avec quelques assistances telle la compensation de la gravité ou l'évitement d'obstacles.

Les retours d'informations comprennent:

- La vision (synthétique et réelle);
- l'effort (synthétique et réel, avec retour kinesthésique ou graphique);
- la visualisation de menu sur Macintosh.

V-3-2-2-Le domaine chirurgical

Les applications choisies dans ce domaine sont:

1)- La Vitrectomie oculaire: C'est une intervention effectuée sous microscope, elle consiste à faire pénétrer l'aiguille d'un vitéotome (instrument chirurgical utilisé en ophtalmologie) à l'intérieur du globe oculaire à travers un orifice pratiqué à sa surface, puis à diriger la pointe vers la zone d'intervention pour nettoyer la région affectée du vitré Figure V- 5.

Durant cette opération, la principale contrainte est de maintenir le corps de l'aiguille de diamètre 0,9 mm, centré sur la porte d'entrée de surface 1 à 2 mm², pour ne pas causer de lésions sclérotiques. C'est une contrainte assez difficile à respecter à cause du tremblement de la main du chirurgien lié à la fatigue, au stress... etc.

2)- La Keratotomie radiaire: Cette opération consiste à effectuer 4 ou 8 incisions sur la cornée, ce qui entraîne une modification du rayon de courbure permettant ainsi de corriger les fortes myopies Figure V-6.

En phase pré-opératoire, l'épaisseur de la cornée est mesurée très précisément à l'aide d'un pachymètre à ultra-sons. Elle est en moyenne de 800 microns au centre et de 1000 microns à la périphérie.

Les incisions, pratiquées au moyen d'un bistouri à lame de diamant, partent du bord d'un cercle optique central de diamètre 3 à 4 mm, laissé libre et s'arrêtent à 1 mm du limbe (séparation entre la sclérotique et la cornée).

Pour cette intervention, deux principales contraintes sont à respecter:

-Les incisions pour être efficaces, doivent avoir une profondeur dépassant 95 % de l'épaisseur de la cornée centrale avec une précision de 0,01 mm;

-Le couteau doit toujours rester perpendiculaire à la courbure cornéenne.

D'où la difficulté de reproduire le même geste, d'une incision à l'autre.

Afin de guider le chirurgien dans l'accomplissement des tâches citées ci-dessus, nous avons doté le micromanipulateur [GUE 88a], de fonctions supplémentaires telles que le blocage de degrés de liberté au contact d'un obstacle et le suivi de surface 3D, grâce à l'introduction de capteurs à fibres optiques à l'extrémité de l'outil [GUE 89a]. Vous trouverez en annexe 4 les caractéristiques des capteurs utilisés.

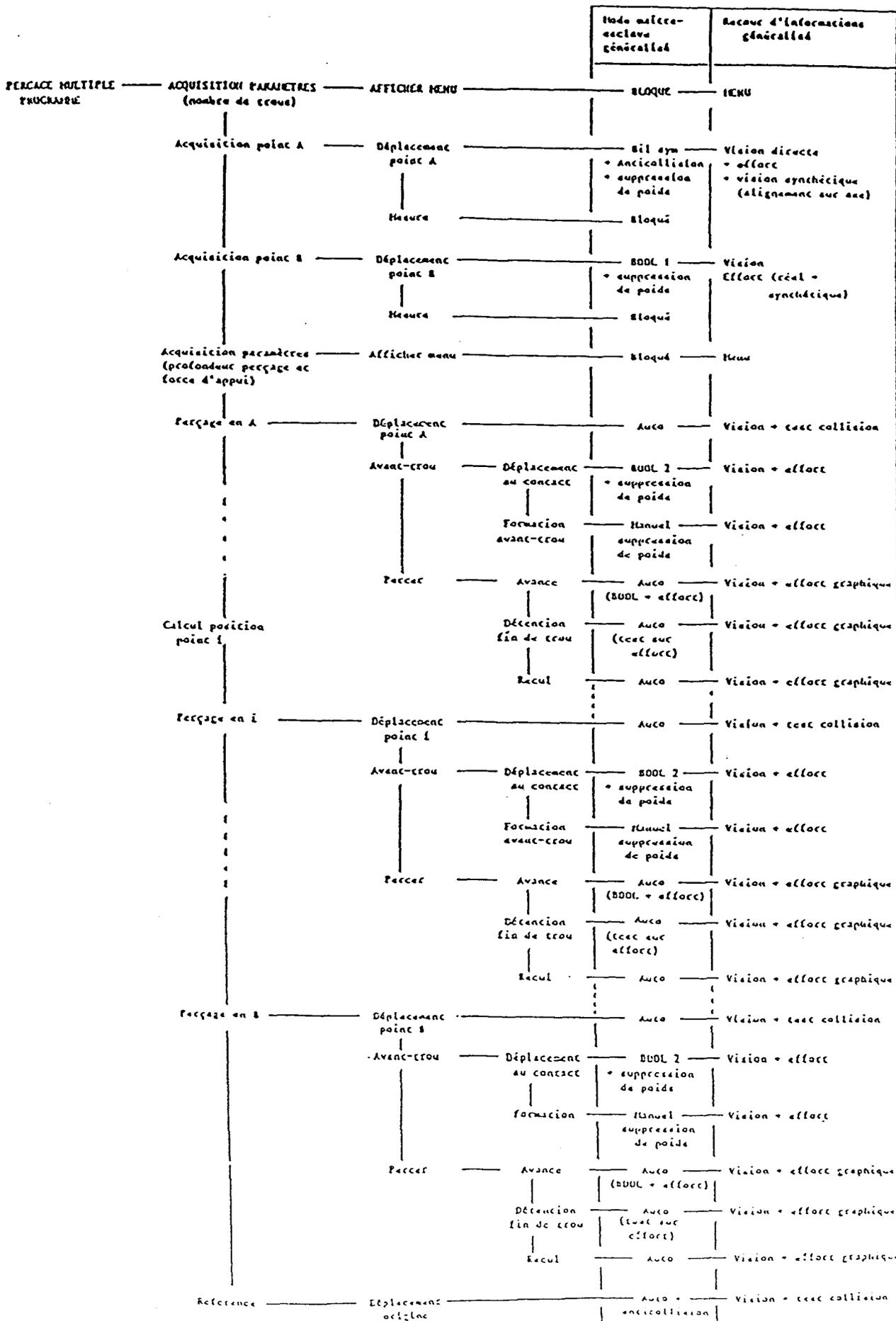


Figure V-4: Scenario tâche de perçage multiple d'après [ARA 86]

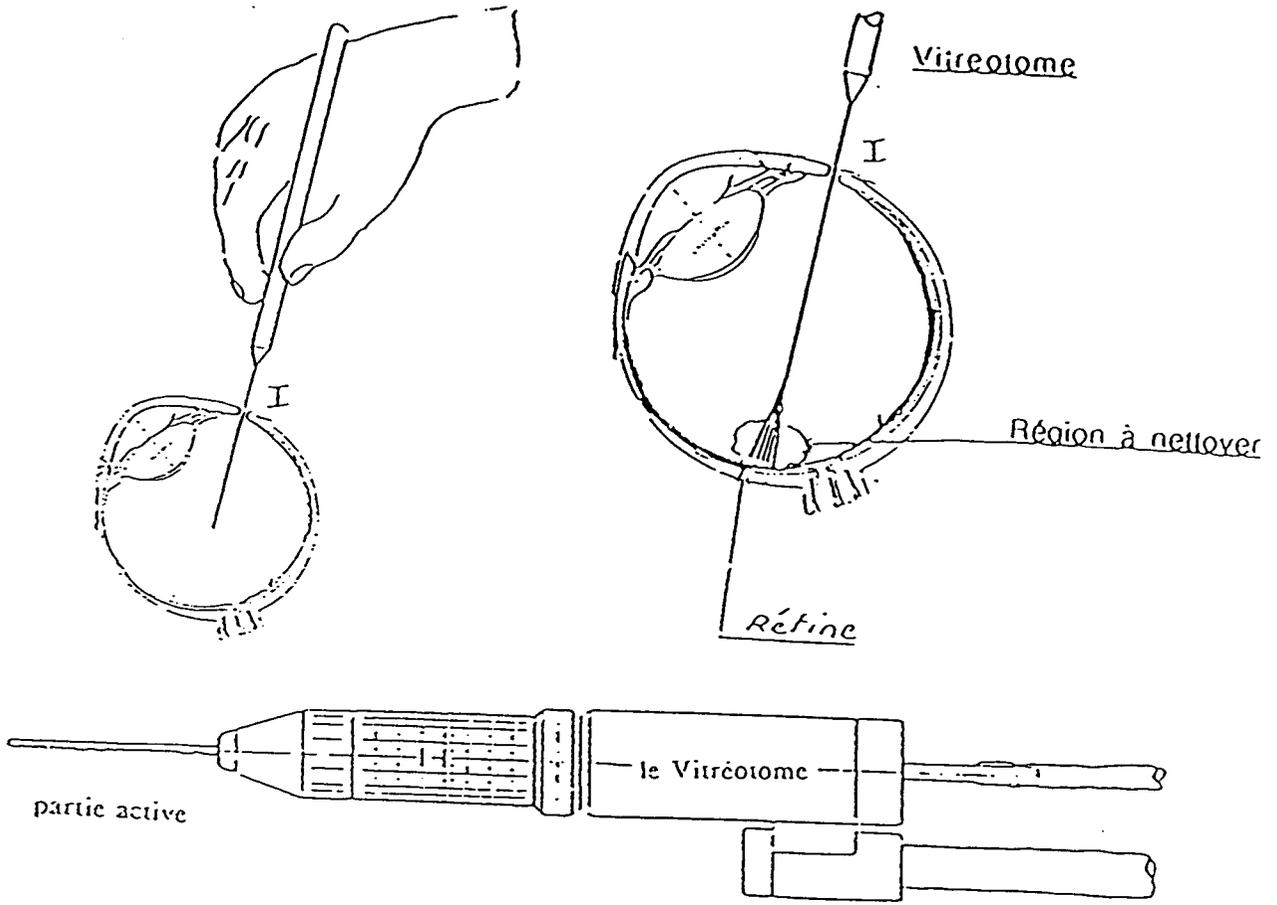


Figure V-5: Vitrectomie Oculaire

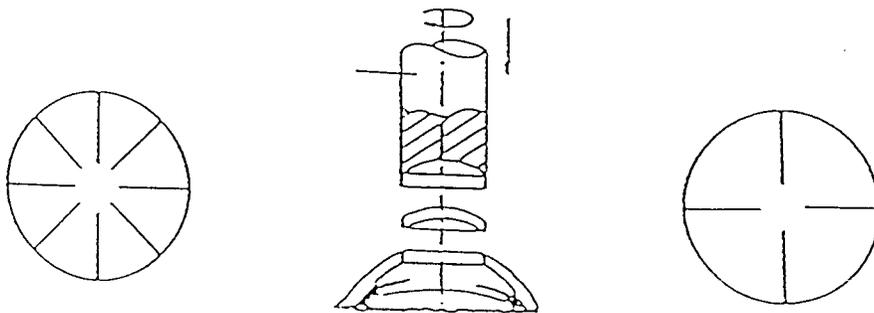


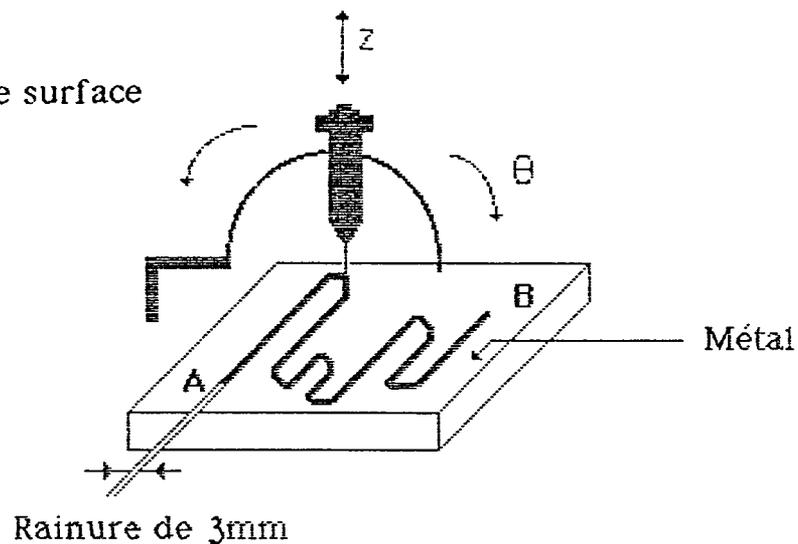
Figure V-6: Differentes incisions

V-4-EVALUATION DU MODEL SUPERWOMAN DANS UNE TACHE DE HAUTE PRECISION

Afin d'évaluer le model SUPERWOMAN, nous avons réalisé une manipulation de suivi de trajectoire dans un plan (X,Y), avec trois modes de contrôle différents (manuel, télémanipulé et référencé capteurs).

La tâche demandée aux opérateurs est d'effectuer le suivi de trajectoire décrite par la rainure AB, figure V-7.

Figure V-7: Suivi de surface



Nous noterons le temps d'exécution pour aller de A à B ainsi que le nombre d'erreurs. Chaque erreur correspondra à un contact de l'outil du micromanipulateur avec la surface métallique de la maquette.

Après avoir bien fixé le seuil de détection L tel que:

$$L_1 < L < L_2 \quad (\text{cf. [GUE 88b], [GUE 88c]})$$

Nous avons réalisé la tâche dans les conditions suivantes:

- Manipulation manuelle sans aucune assistance,
- Télémanipulation seule
- Télémanipulation avec blocage des degrés de liberté

Les résultats sont résumés sur les tableaux V-1a, V-1b, V-1c.

Mode de contrôle Manuel

Opérateurs	Temps	Nb d'erreurs
OP1	1,5 (s)	30
OP2	1,2 (s)	26

Tableau V-1a

Mode de contrôle Télémanipulé

Opérateurs	Temps	Nb d'erreurs
OP1	5,6 (s)	4
OP2	5,2 (s)	3

Tableau V-1b

Mode de contrôle référencé capteurs

Opérateurs	Temps	Nb d'erreurs
OP1	5,6 (s)	0
OP2	5,3 (s)	0

Tableau V-1c

V-4-1-INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats résumés par les tableaux précédents montrent l'intérêt des fonctions d'assistance en plus de l'utilisation du micromanipulateur. En effet la performance est maximale (Nb d'erreurs = 0) pour le mode Télémanipulé avec blocage de degrés de liberté.

L'intérêt pratique d'une telle assistance est illustré par l'exemple suivant:

Lorsque le chirurgien effectue l'opération de kératectomie radiaire (cf. § V-3-2-2), deux principales contraintes sont à respecter:

- 1- Le couteau doit rester perpendiculaire à la courbure cornéenne;
- 2- les incisions doivent avoir une précision de 0,01 mm.

Le mode de contrôle référencé capteurs permet ainsi de se positionner correctement par rapport à la zone d'intervention.

V-5-EVALUATION DE LA CHARGE DE TRAVAIL DE L'OPERATEUR

Il existe deux méthodes qui permettent d'évaluer la charge de travail chez l'opérateur:

- Les méthodes subjectives (questionnaires, ...)
- Les méthodes objectives (analyse Time Line).

Nous n'allons pas développer toutes les techniques qui permettent de détecter la fatigue de l'opérateur, mais simplement souligner les résultats que nous avons obtenus.

V-5-1-ELABORATION DE L'EXPERIMENTATION

L'opérateur manipule successivement sur les deux maquettes de test (les mêmes maquettes qui ont servi à l'étude comparative des modes de dialogue, cf. Chap. IV), avec comme seule pause, le passage d'une maquette à l'autre qui s'élève à environ 5 minutes.

Definition de la tâche: Dans le cas de la manipulation avec la maquette 1 (maquette qui a servi au test souplesse cf. chapitre IV), la tâche demandée est de parcourir la trajectoire dessinée par la rainure de largeur de 3mm, sans toucher les parois métalliques de la maquette (sinon erreur). Dans le cas de la maquette 2 (maquette qui a servi au test maniabilité cf. chapitre IV), la tâche demandée à l'opérateur est d'introduire l'aiguille de \varnothing 1mm qui se trouve à l'extrémité du micromanipulateur, à l'intérieur des cylindres, afin d'éteindre les Leds allumées au départ. A chaque fois que l'aiguille entre en contact avec les parois métallique des cylindres, le calculateur l'interprètera comme erreur.

Pendant la manipulation, nous noterons le nombre d'erreurs commises par l'opérateur, le temps mis pour effectuer le travail demandé sur les maquettes, ainsi que toute observation donnée par l'opérateur.

Nous nous placerons volontairement dans des conditions extrêmes: l'opérateur manipule debout et c'est la première fois qu'il utilise le micromanipulateur.

Lors de la première manipulation, l'E.M.G. des paravertébraux lombaires, la respiration et le battement des paupières de l'opérateur sont également recueillis [THI 85]. Notons que, parmi les signaux révélateurs de l'état de fatigue de l'opérateur, ces signaux sont relativement faciles à recueillir. Les résultats sont donnés par les tableaux V-2a et V-2b [GUE 89b].

Time table	Modele	Enreg.	Nb d'erreurs	Temps (mn)	Observations
11:45	2	non	4	9,27	Première manipulation avec le Modèle 2
12:20	1	oui	3	15,19	Première manipulation avec le Modèle 1
12:50	2	oui	4	8,83	
13:20	1	oui	3	9,56	L'opérateur commence à avoir mal au dos
13:40	2	non	18	8,74	
13:50	1	oui	0	8,1	
14:10	2	non	0	5,95	
14:20	2	oui	2	4,58	L'opérateur commence à avoir mal à la nuque
14:30	1	non	1	8,73	
14:50	2	oui	2	5,84	
15:05	1	non	2	6,23	
15:25	2	oui	3	4,29	
15:40	1	non	0	5,65	
15:55	2	oui	6	5,34	
16:10	1	oui	0	6,1	

Tableau V-2a

Time table	Modele	Enreg.	Nb d'erreurs	Temps(mn)	Observations
14:50	1	Oui	15	9,37	Première manipulation avec le Modèle 1
15:10	2	Oui	24	4,34	Première manipulation avec le Modèle 2
15:25	1	Oui	19	7,8	
15:40	2	Oui	17	5,86	L'opérateur commence à avoir mal au dos
15:55	1	Oui	3	6,85	
16:20	2	Oui	13	6,45	
16:35	1	Oui	0	4,01	L'opérateur commence à avoir mal à la nuque
16:45	2	Non	6	6,85	
17:05	1	Oui	6	6,64	
17:25	2	Oui	5	5,8	

Tableau V-2b

Figure V-8a

Evolution de la fréquence des muscles paravertébraux lombaires et des paravertébraux cervicaux durant la seconde manipulation

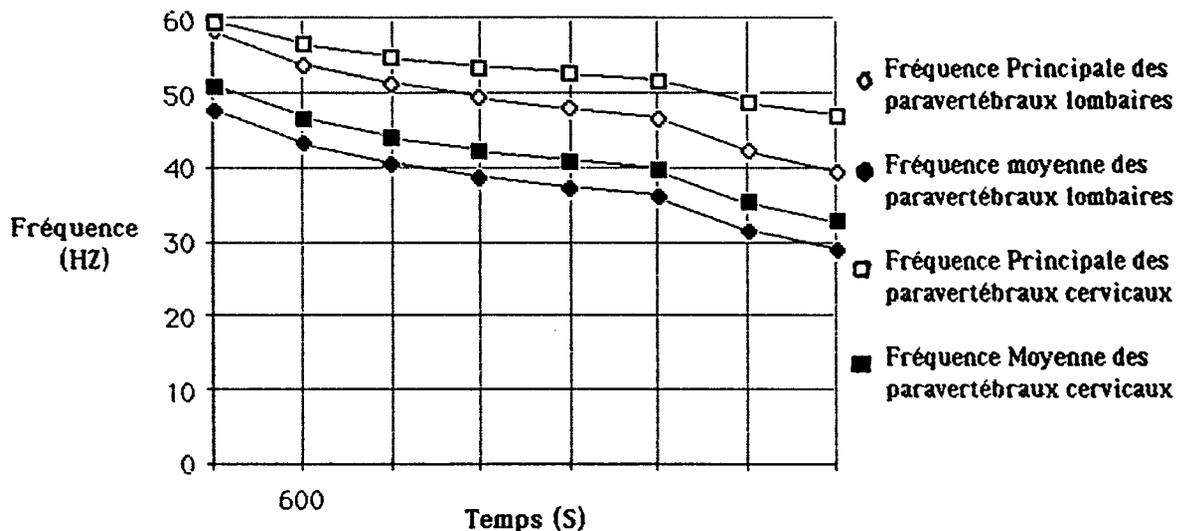
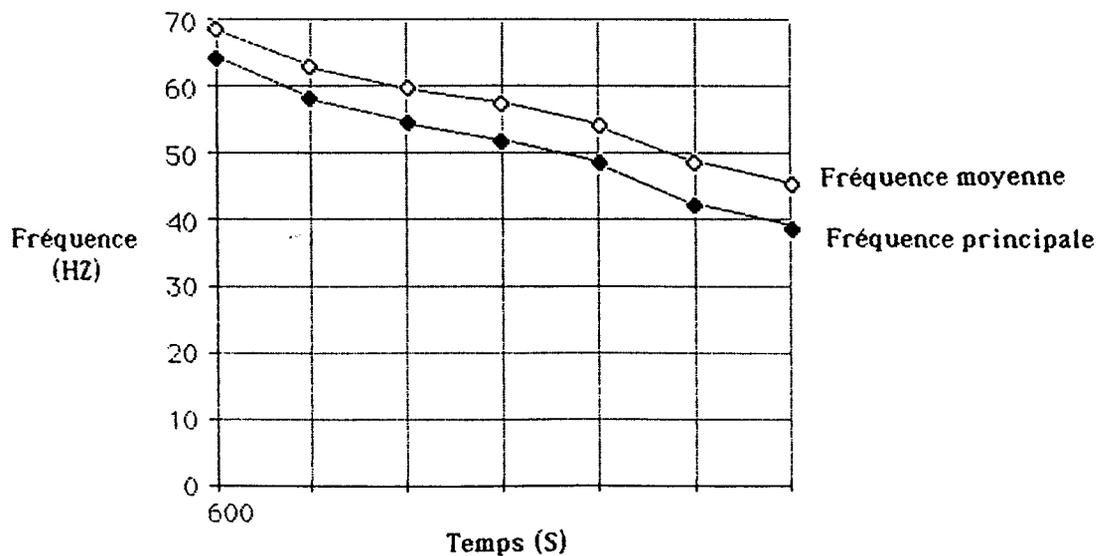


Figure V-8b

Evolution de la fréquence des muscles paravertébraux durant la première manipulation



V-5-2-ANALYSE DES RESULTATS

Nous remarquons d'après les figures V-8a et V-8b, que les paramètres de l'E.M.G., c'est à dire la fréquence moyenne et la fréquence principale, se déplacent vers les basses fréquences (28Hz) et nous donnent ainsi une idée sur l'état de fatigue de l'opérateur, malgré les mouvements continuels de celui-ci.

En effet, nous constatons qu'en début de manipulation, les muscles ne sont pas fatigués et ont de ce fait une grande activité dans les hautes fréquences, alors qu'en fin de manipulation nous avons une disparition très nette des hautes fréquences.

Nous remarquons de plus que malgré l'état de fatigue physiologique atteint, les performances de l'opérateur sont encore très bonnes vérifiant ainsi les études de Cameron [CAM 73].

L'intérêt de cette mesure, est l'étude de la variation des performances humaines au cours du temps qui est une donnée essentielle de l'analyse des systèmes coopératifs.

Ainsi, la fatigue qui résulte d'un effort soutenu fait apparaître au niveau de l'homme:

- Une perte de vigilance (fonctions sensorielles);
- une baisse de dextérité (fonctions motrices);
- une augmentation du taux d'erreur (fonctions décisionelles).

V-5-3- INTERET DE L'EVALUATION DE LA CHARGE DE TRAVAIL DE L'OPERATEUR

Les différentes expérimentations, ont permis de mettre en évidence plusieurs critères permettant la détection de la fatigue lors d'un travail sur le micromanipulateur chirurgical.

L'étude des fréquences de l'électromyographie des muscles paravertébraux lombaires et cervicaux, et l'évolution des fréquences moyenne et principale qui en découle, nous permettent d'avoir une idée relativement précise de l'état de fatigue de l'opérateur. Nous pourrions estimer le temps que mettra l'opérateur pour atteindre la fatigue et envisager ainsi, un plan de travail/repos adéquat. Bien sûr d'autres facteurs tels que la personnalité, la motivation, la forme physique, et le mode de vie pourront avoir une influence parfois plus significative, sur les tâches à accomplir, que la fatigue.

V-6-EVALUATION DE LA CHARGE COGNITIVE

Afin d'évaluer la charge cognitive d'un opérateur, une série d'expérimentations a été menée au sein du site A.R.A. (Automatique et Robotique Avancée) du C.E.A. (Commissariat d'Énergie Atomique).

La tâche principale étant l'opération de perçage. Cette tâche nécessite un contrôle précis de l'effecteur pour éviter de casser le forêt.

Une tâche secondaire a été imposée à l'opérateur. Cette dernière consiste à décider par "oui" ou "non", si un mot présenté par le dispositif de synthèse vocale comprend ou non une lettre donnée.

V-6-1-VARIABLES ENREGISTREES

- Le nombre des forêts cassés: N_f
- Le temps de réaction pour la tâche secondaire: T_r (secondes).

V-6-2-CONDITIONS EXPERIMENTALES

- Suppression du poids + blocage des degrés de liberté,
- Suppression du poids seule,
- Blocage des degrés de liberté seul,
- Aucune assistance.

L'évaluation a été pratiquée sur 10 opérateurs, chacun d'eux, après une mise en condition, a réalisé 5 essais pour chaque condition expérimentale. Quelques uns des résultats obtenus sont présentés dans le tableau V-3.

Conditions Expérimentales	Suppression de Poids + Blocage des d.d.1.	Suppression de Poids	Blocage des d.d.1.	Aucune Assistance
T_R (s)	0,78	0,84	0,84	0,88
N_F	1	3	3	10

T_R = Temps de réaction

N_F = Nombre de forêts
cassés

Tableau V- 3

V-6-3-INTERPRETATIONS DES RESULTAS

Les résultats montrent que le nombre des forêts cassés N_f croit lorsque aucune assistance n'est fournie aux opérateurs.

De même le temps de réaction T_r est lié à N_f : Plus N_f est grand et plus T_r augmente. On peut dire que pour une tâche qui demande une activité musculaire passive et des ajustements précis, la suppression de poids et le blocage des degrés de liberté, réduisent la charge cognitive. Cependant malgré cette assistance l'opérateur arrive à faire des erreurs (ex. $N_f = 1$ pour la condition suppression de poids + blocage des degrés de liberté). Ceci est dû au fait qu'il a omis de prendre en considération le message lui indiquant "non retrait de l'outil".

Lorsqu'on veut réaliser une tâche de façon fiable toutes les informations relatives à cette tâche, doivent être prises en considération. Cependant, il arrive (pour une tâche devant être exécutée très rapidement) de ne considérer qu'une partie des informations transmises par le superviseur. Un choix entre informations s'impose. Ce choix est explicité dans les paragraphes qui suivent.

V-7-SELECTION DE L'INFORMATION PERTINENTE DANS SUPERWOMAN- AIDE A LA DECISION

Pour que l'opérateur puisse agir sur son système de façon optimale, deux critères semblent importants à optimiser. Il s'agit des deux critères suivants:

- Le coût de perception noté C_p ;
- Le coût de fatigue noté C_f .

Nous avons vu au Chapitre III que le taux de perception $K_p \leq 100\%$ et ceci quel que soit le nombre des messages transmis. Donc, quelle que soit la décision d_j prise par l'opérateur:

$$d_j \leq d^* \quad \text{où } d^* \text{ représente la décision optimale.}$$

V-7-1-FORMULATION DU PROBLEME

Soit Y l'ensemble des informations relatives à l'état réel de l'environnement de la tâche. Ces informations sont transmises d'une part par le superviseur et par la chaîne de perception d'autre part.

L'ensemble des informations perçues par l'opérateur est une estimation \hat{Y} de l'état réel Y tel que:

$$\hat{Y} = K_p Y$$

Soit X un ensemble d'action que possède l'opérateur. Ces actions sont en général acquises par apprentissage. On définit la probabilité de réussite de l'action x sachant l'information Y par:

$$f(x, \hat{Y}) : \text{probabilité de réussite subjective} \\ \text{avec } x \in X$$

On définit également une probabilité objective de réussite par:

$$g(x, Y) : Y \text{ étant l'état réel} \\ g \in [0, 1]$$

1-Action optimale

$x^*(Y)$ est dite action optimale, si elle maximise la probabilité objective.

$$P [x^* (Y) , Y] = \max_{x \in X} P (x , Y)$$

2-Action réelle

Deux cas peuvent se présenter:

a)-Opérateur dans un état de fatigue nulle

L'opérateur n'étant pas fatigué, il va choisir une action $\tilde{x}(\hat{Y})$ qui maximise la probabilité de réussite subjective. \hat{Y} étant perçu par l'opérateur.

$$f [\tilde{x} (\hat{Y}) , \hat{Y}] = \max_{x \in X} f (x , \hat{Y})$$

$\tilde{x}(\hat{Y})$ sera dite action réelle.

La probabilité objective dans ce cas sera:

$$P [\tilde{x} (\hat{Y}) , Y] \leq P [x^* (Y) , Y] \quad (1)$$

b)-Opérateur dans un état de fatigue @

Si l'opérateur est fatigué, il ne prendra pas forcément la décision optimale.

HYPOTHESE: Quelle que soit l'information Z perçue, il choisira une action $\bar{x}(Z)$ moins bonne que $x^*(Z)$.

Il optimise toujours sa probabilité de réussite subjective, mais celle-ci va dépendre de son état de fatigue @.

$$\text{Soit:} \quad f_{@} [\bar{x} (Z) , Z] = \max_{x \in X} f_{@} (x , Z)$$

Notation: $\tilde{x}_{@}(\hat{Y})$ est l'action optimale subjective prise par l'opérateur connaissant \hat{Y} et dans un état de fatigue @.

Dans ce cas la probabilité objective sera:

$$\Theta [\tilde{x}_{\Theta}(\hat{Y}), Y] \leq \Theta [x^*(Y), Y] \quad (2)$$

Avec $\Theta [x_{\Theta}(Y), Y]$ une fonction décroissante de Θ quel que soit Y .

V-7-2-EVALUATION DES CRITERES

Les deux formules (1) et (2), permettent d'évaluer les deux critères C_p et C_f .

1- Coût de perception $C_p(\hat{Y}, Y)$

Sachant que la probabilité de réussite objective de l'action réelle est toujours inférieure ou égale à la probabilité de réussite objective de l'action optimale, la différence nous permet d'évaluer $C_p(\hat{Y}, Y)$.

$$C_p(\hat{Y}, Y) = \Theta [x^*(Y), Y] - \Theta [\tilde{x}_{\Theta}(\hat{Y}), Y]$$

2- Coût de fatigue $C_f(\hat{Y}, Y)$

De même, la relation (2) nous permet d'évaluer le coût de fatigue $C_f(\hat{Y}, Y)$.

$$C_f(\hat{Y}, Y) = \Theta [x^*(Y), Y] - \Theta [\tilde{x}_{\Theta}(\hat{Y}), Y]$$

Tant que C_f et C_p sont inférieurs à un seuil E défini par la tâche à exécuter, toutes les informations sont transmises sans "tri" préalable.

Lorsque C_f et C_p dépassent le seuil E , à ce moment un "filtrage" des messages envoyés par le superviseur s'impose.

Remarque: Le seuil E dépend de la tâche fixant l'importance du critère. Ex: en chirurgie, la réussite de la tâche est un critère plus important relativement au le temps d'exécution.

V-7-3-FILTRAGE DES MESSAGES

Les messages relatifs à l'exécution d'une sous-tâche T_{ij} sont transmis selon le poids qui leur est fixé par la nature de la tâche et attribué par le décideur dont le fonctionnement est décrit ci-dessous.

1)- Fonctionnement du décideur

Soit $Y = \{ Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n \}$ l'ensemble des messages à envoyer à l'opérateur pour exécuter la sous-tâche T_{ij} .

Soit $E = \{ \sigma, e, T_e \}$ un ensemble de critères.

Avec σ : le taux de réussite de la tâche,
 e : le taux de fatigue de l'opérateur,
 T_e : le temps d'exécution de la tâche.

Le décideur va définir pour chaque critère $C_j \in E$, un indice d'importance P_{ji} lié à la tâche, ce qui donne le tableau ci-dessous.

C_j Y	T_e	e	σ	$\sum P_{ji}$
Y_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	$\sum P_{1i}$
Y_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	$\sum P_{2i}$
Y_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	$\sum P_{3i}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Y_n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	$\sum P_{ni}$

Tableau: V-4

On dira que $Y_1 \left\{ \begin{array}{l} Y_2 \end{array} \right.$ si et seulement si $\sum_{i=1}^3 P_{1i} > \sum_{i=1}^3 P_{2i}$

Notation: $Y_1 \left\{ \begin{array}{l} Y_2 \end{array} \right. \implies Y_1 \text{ meilleur que } Y_2$

Le problème ainsi formulé, permet d'envisager les travaux futurs qui consistent à affiner les présentations des informations qui seront automatiquement générées par le superviseur à l'intention de l'opérateur d'exécution.

Remarque: σ est plus important que T_e , d'où la nécessité de multiplier chaque critère par un coefficient tel que:

$$P_{1i} = a P_{11} + b P_{12} + c P_{13}$$

Avec $a > 1 > b > c$

V-8-APPLICATION DE METHODES D'AIDE A LA DECISION

Les critères (σ , ω , T_e) étant dépendants les uns des autres, l'application des méthodes ELECTRES est écartée, et la seule voie possible semble l'expérimentation afin de définir les meilleurs modes de représentation de l'information.

V-8-1-ETUDES EXPERIMENTALES

Afin de sélectionner le meilleur mode de présentation de l'information, nous avons procédé à une série d'expérimentation, dont le protocole est explicité Figure V- 9.

La plateforme de simulation est celle qui a servi à l'étude comparative des différents modes de dialogue pour le critère maniabilité locale (cf. Chap. IV).

A l'initialisation toutes les leds (numérotées de 1 à 8), sont allumées. La tâche de l'opérateur est d'éteindre les leds une à une, selon les messages envoyés par SUPERWOMAN sur le Macintosh. Pour cela il doit introduire l'outil du micromanipulateur dans l'écrou servant d'interupteur pour chaque led.

Pour une même tâche, nous avons envoyé à l'opérateur différentes fenêtres (Y_1 , Y_2 , Y_3 , ...) concernant l'exécution de cette tâche.

Nous avons relevé pour chaque mode de représentation Y_i , le temps qu' a mit l'opérateur pour exécuter la tâche ainsi que le nombre d'erreur.

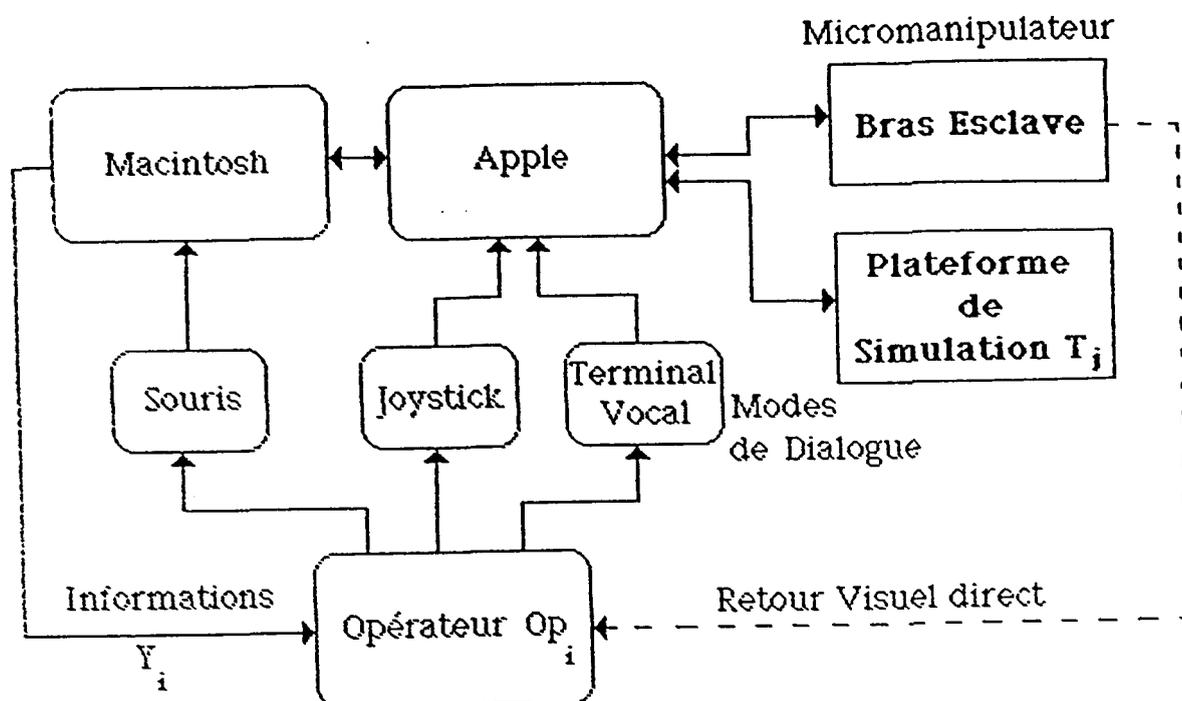


Figure V-9: Synoptique de la commande

Y _i	OP1		OP2	
	Nb d'Erreurs	Temps (s)	Nb d'Erreurs	Temps (s)
Y1	6	6,23	3	8,84
Y2	4	9,18	3	9,11
Y3	12	8,5	7	9,29
Y4	3	6,1	2	5,83
Y5	2	6,85	0	7,13
Y6	7	3,5	9	5,34
Y7	10	7,42	5	6,98
Y8	3	5,17	5	4,96

Tableau V-5

Y_i = représentation graphique

OP1 = Opérateur 1

OP2 = Opérateur 2

Temps = Temps d'exécution
de la sous-tâche demandée

Les résultats sont donnés Tableau V-5, ou nous pourrions constater que le meilleur mode de représentation correspond à Y4 pour lequel le temps d'exécution T_e et le nombre d'erreurs N_e réalisés par l'opérateur OP2 sont relativement faibles ($T_e= 5,83$ s, $N_e=2$).

Ainsi le meilleur mode de représentation correspondra à Y_i pour lequel le temps d'exécution T_e et le nombre d'erreurs N_e sont les plus faibles (un exemple de Y_i est donné figure V-10).

V-9-CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les premiers résultats obtenus par le modèle SUPERWOMAN ont permis de vérifier la faisabilité de la méthode envisagée. Cette méthodologie en effet, est basée sur la création progressive de fenêtres présentant les informations relatives à l'exécution d'une sous-tâche à partir de contraintes ergonomiques.

Ceci permet d'envisager la suite des travaux qui consistent à affiner la présentation des informations automatiquement générées par le superviseur.

En fonction de la relation d'indépendance ou de hiérarchisation entre les différentes fenêtres à synthétiser, en fonction également du nombre de messages à présenter, le superviseur doit décider d'un mode de présentation optimal.

Ce principe de décision, qui est basé sur un calcul de probabilité de réussite objective et subjective, correspond parfaitement aux besoins immédiats de plusieurs applications telles que la conception des salles de contrôle aérien, configuration des cockpits, ... etc.

Les expérimentations effectuées dans ce chapitre, ont permis d'aborder et de clarifier les problèmes posés par la sélection et le choix du meilleur mode de représentation de l'information, qui devront faire aboutir la recherche de manière plus approfondie.

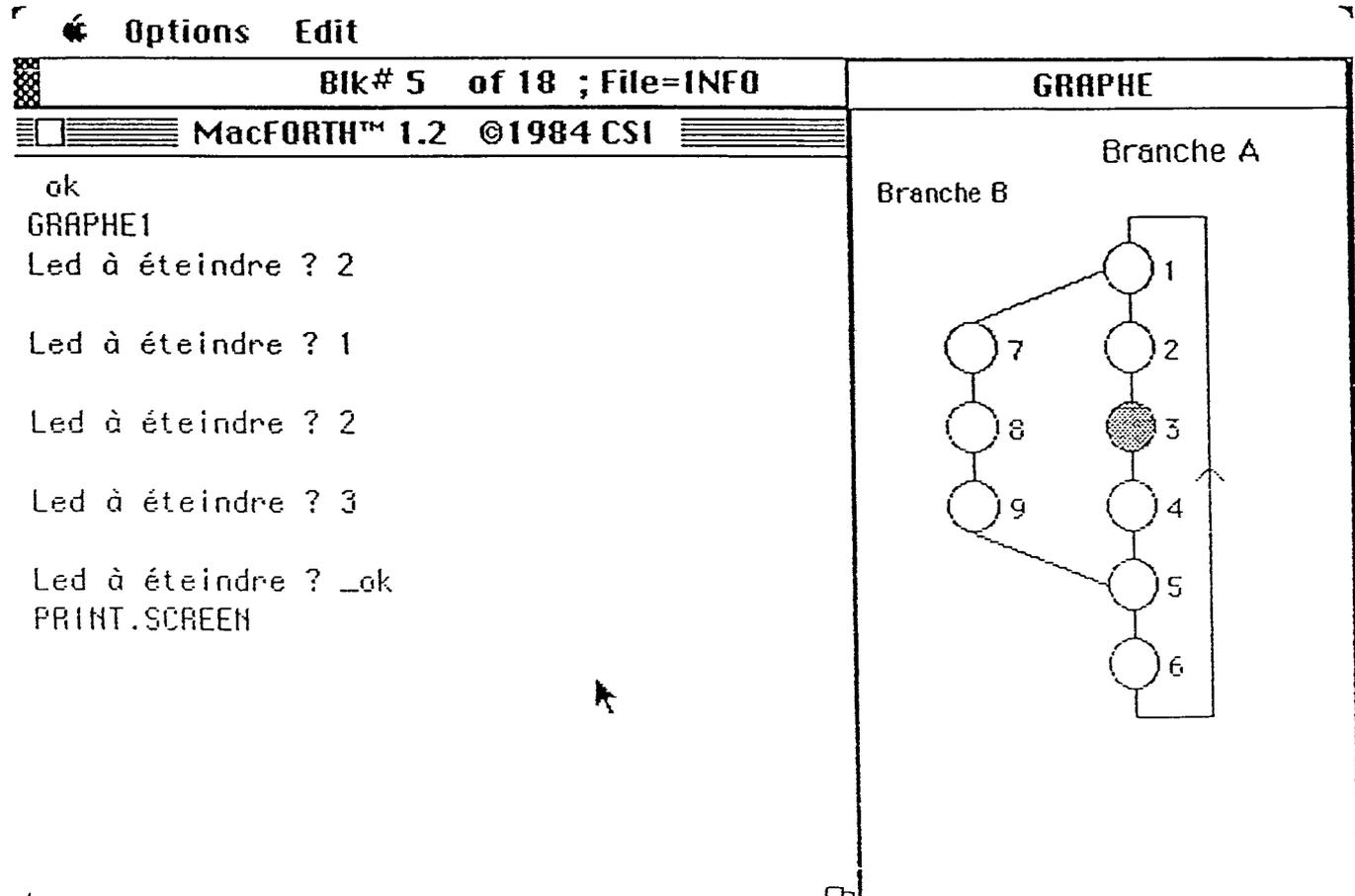
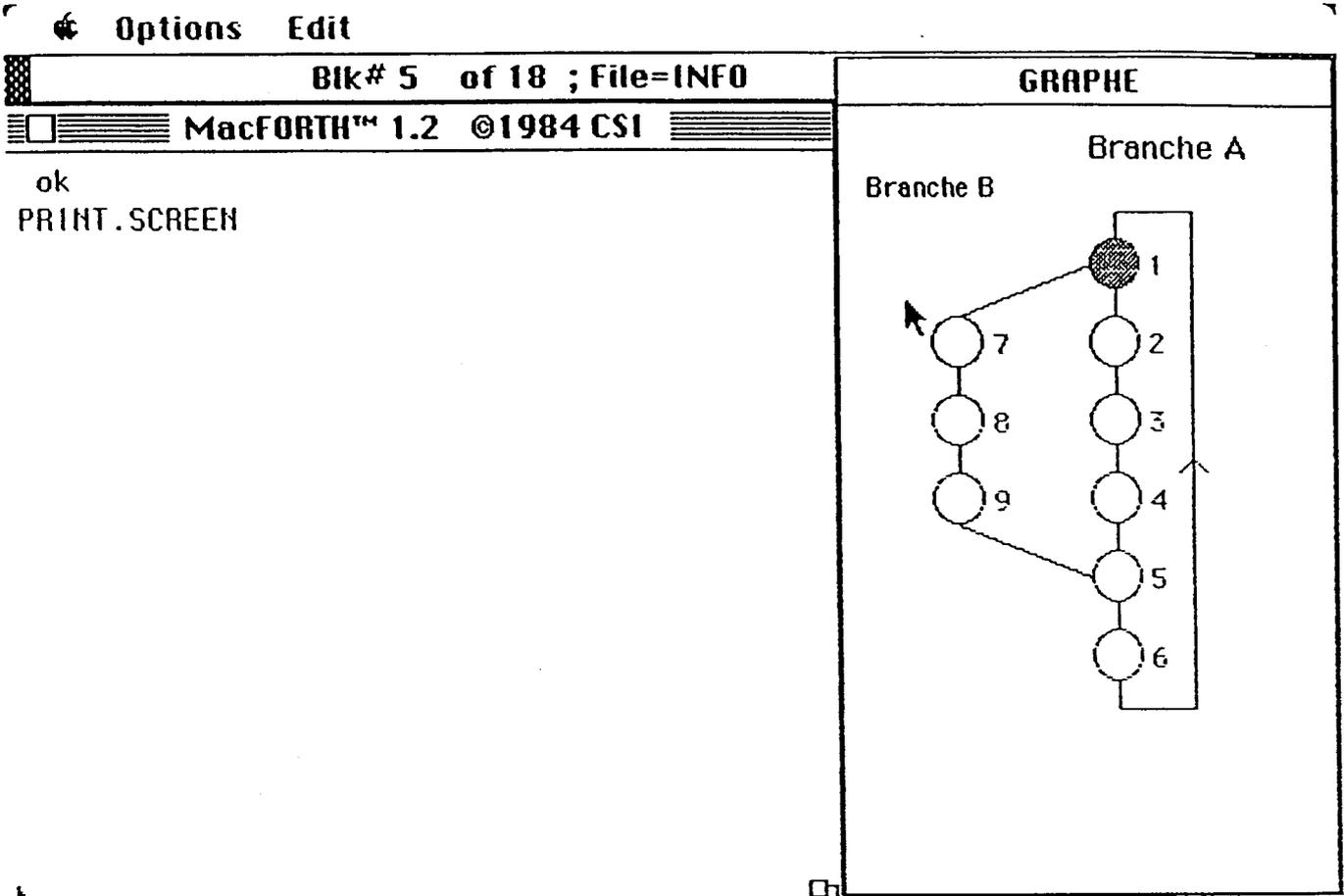


Figure V-10: Exemple d'écrans Yi

CONCLUSION GENERALE

La démarche suivie dans cette étude, était principalement une synthèse expérimentale. Les données ont été d'une part, les études prospectives faisant intervenir le concept de la supervision, d'autre part l'aspect cognitif de l'opérateur.

Des critères spécifiques ont été retenus et des restrictions ont été choisies pour faire converger cette étude vers une application très démonstrative d'un poste de travail adaptatif: le modèle SUPERWOMAN.

Comme perspectives, l'évolution de SUPERWOMAN vers un modèle doté de "**plusieurs**" outils d'assistance et d'aide à la décision semble intéressante. Le modèle ainsi réalisé, va permettre d'optimiser, d'une part les choix des modes de représentation de l'information pertinente, d'autre part le choix du meilleur mode de dialogue en fonction de la tâche, l'environnement ainsi que de l'état fatigue de l'opérateur.

Notons également que la recherche en T.A.O., ne peut être insensible aux récents progrès de l'intelligence artificielle. Bien que les retombées pratiques de cette discipline soient encore assez imprécises, les besoins de la téléopération semblent se focaliser sur les axes suivant:

- modélisation objet de l'environnement et planification des tâches (le système Copilot développé au C.E.A. [Man 86]);

- simulation des stratégies proposées à l'opérateur et évaluation de leur faisabilité et de leur coût;

- assistance à la commande;

- selection des informations pertinentes et leur mode de restitution en rapport avec les conditions d'environnement et les caractéristiques de la tâche en cours;

- interprétation des compte-rendus d'exécution de bas niveau dans un contexte tâche spécifique.

Toute aide informatique apportée hors ligne à la définition des assistances pertinentes adressant une tâche donnée, poserait en effet les bases d'une véritable stratégie de configuration dynamique, susceptible en ligne d'affranchir la supervision d'un certain manque de souplesse attaché à la notion de mode pré-programmé.

En plus des développements cités ci-dessus, les techniques de la T.A.O., peuvent être transposés au pilotage de systèmes télécommandés autres qu'un manipulateur

BIBLIOGRAPHIE

- [ARA 86] : " Téléopération Assistée par Ordinateur:
Bilan et perspectives", C.E.N., Saclay 3-5, Décembre 1986
- [AUT 83] : P. AUTECHAUD
"Contrôle Homme-Machine dans l'exécution d'une tâche
en robotique", Thèse de 3^{eme} cycle,
U.S.T.Lille 1, 8 Juillet 1983.
- [BAR 77] : S. BARON, W. H. LEVISON
"Display Analysis with the Optimal Control Model of the
Human Operator", Human Factors, vol. 19, n° 5,
pp. 437-457, October 1977.
- [BAR 80a] : S. BARON, R. MURALIDHARAN, R. LANCRAFT,
G. ZACHARIAS
"PROCRU: A Model for Analysing Crew Procedures in
Approach to landing", NASA CR 152397, April 1980.
- [BAR 80b] : S. BARON, R. LANCRAFT, G. ZACHARIAS
"Pilot/Vehicle Model Analysis of Visual and Motion Cue
Requirements in Flight Simulation", BBN Report n°4300,
Bolt, Beranek and Newman, Cambridge, MA, Jan. 1980.
- [BEJ 80] : A. K. BEJCZY, T. L. BROOKS
"Advanced control techniques for teleoperation in earth
orbit", association for unmanned vehicle systems,
annual technical symposium, Dayton 1980.
- [BIL 81] : L. E. BILLINGS, E. S. CHEANEY
"Information transfer problems in the aviation system",
NASA TP-1875, Sep. 1981.
- [BOY 82] : G. BOY
"Modèle informatique avancé du système MESSAGE",
Rapport intermédiaire AIRBUS/DERA n°7/7275,
ONERA/CERT, Toulouse, Octobre 1982.

- [BOY 83a] : G. BOY, C. TESSIER
 "Etude de la charge de travail dans une cabine de pilotage. Validation du système MESSAGE en boucle ouverte", Rapport final AIRBUS/DERA n°8/7275, ONERA/CERT, Toulouse, Fevrier 1983.
- [BOY 83b] : G. BOY
 "Le système MESSAGE: Un premier pas vers l'analyse assistée par ordinateur des interactions H/M", le travail Humain, tome 46, n°2, 1983.
- [BRO 79] : T.L. BROOKS
 "SUPERMAN : A system for SUPERvisory MANipulation and the study of human/computer interactions", Master Thesis, MIT, 11 May 1979.
- [CAK 80] : A. CAKIR, D. J. HART, T. F. M. STEWART
 "Les terminaux à écran: agencement, ergonomie, organisation", les éditions d'organisation, Paris 1980.
- [CAM 73] : C. CAMERON
 "A theory of fatigue", Ergonomics 1973.
- [CAV 78] : D. CAVALLI
 "Le modèle de pilote en temps discret de l'ONERA", AGARD, Ottawa, 24-29 Septembre 1978.
- [COI 85] : P. COIFFET, J. VERTUT
 "Téléopération Assistée par Ordinateur", les robots Tome 3B, Hermès 1985.
- [CUR 77] : R. E. CURRY, D. L. KLEINMAN, W. C. HOFFMAN
 "A Design Procedure for Control/Display Systems", Human Factors, vol. 19 n°4, pp. 421-436, 1977.
- [DIA 85] : C. DIAZ GONZALES
 "Amélioration de la performance d'intervention en micromanipulation. Application à la microchirurgie", Thèse de 3^{eme} cycle, U.S.T.Lille 1, 1985.
- [DUB 84] : J. B. DUBOIS
 "Coordination assistée pour télémanipulation spatiale", Thèse de Docteur Ingénieur, E.N.S.A.E., Toulouse, 1984.

- [FOU 86] : R. FOURNIER, J. P. GAILLARD, N. FIORI, B. ESPIAU
 "Advanced Teleoperation III , an integrated experiment",
 Proc. ICAR 6th ROMANSY, Cracovie (Poland), Sep. 1986.
- [GAI 76] : E. G. GAI, R. E. CURRY
 "A Model of the Human Observer in Failure detection
 Tasks", IEEE Transactions on Systems,
 Man and Cybernetics, SMC-6, n°2, February 1976.
- [GAL 86] : S. GALERNE, N. QUETIN
 "Projet SPARTACUS: Bilan de l'interface Homme-Machine"
 Rapport LRE, Mars 1986.
- [GRA 88] : P. GRAVEZ
 "Système superviseur et Téléopération",
 Thèse de 3^{ème} cycle, USTLille1, Mars 1988.
- [GUE 83] : A. GUERROUAD
 "Fiabilité de la commande vocale: Application à la
 Téléopération", Rapport de DEA, U.S.T.Lille1, 1983.
- [GUE 86] : A. GUERROUAD, M. BENGAYED, C. DIAZ,
 B. LEPERS, P. VIDAL
 "An advanced control micromanipulator for surgical
 applications", International System Sciences,
 Wroclow, Poland, September 1986.
- [GUE 88a] : A. GUERROUAD, P. VIDAL
 "Control and Safety in Medical Teleoperation",
 International Symposium on
 TELEOPERATION AND CONTROL,
 Bristol, England, 12th to 15th July, 1988.
- [GUE 88b] : A. GUERROUAD, B. LEPERS, S. HAYAT, P. VIDAL
 "Amélioration des performances globales en sécurité du
 tandem Hommes-Machines par analyse structurée
 de leurs relations", Conférence Annuelle Européenne
 Prise de Décision et Contrôle Manuel,
 Paris, France, 18, 19, 20 Octobre 1988.

- [GUE 88c] : A. GUERROUAD, S. HAYAT, P. VIDAL, J. C. HACHE
 "A Surgical Microtelemanipulator applicable to ophthalmology",
 I.E.E.E. Engineering in Medicine and Biology,
 10th Annual International Conference,
 New Orleans, U.S.A., 4th to 7th November 1988.
- [GUE 88d] : A. GUERROUAD, S. HAYAT, M. BENGAYED, P. VIDAL
 "Adaptation d'une interface vocale fiable dans un bloc opératoire", 9^{ème} journées Tunisiennes
 d'électronique et d'automatique,
 Monastir, Tunisie, 8-11 Décembre 1988.
- [GUE 89a] : A. GUERROUAD
 "Voice Control in the Surgery Room",
 I.E.E.E. Engineering in Medicine and Biology,
 Seattle, Washington (U.S.A.), November 1989.
- [GUE 89b] : A. GUERROUAD, P. VIDAL
 "S.M.O.S.: Stereotaxical Microtelemanipulator for Ocular Surgery", I.E.E.E. Engineering in Medicine and Biology,
 Seattle, Washington (U.S.A.), November 1989.
- [GUE 89c] : A. GUERROUAD, D. JOLLY
 "Automatically Analysis of Weariness during a Microtelemanipulation Task by SMOS",
 I.E.E.E. Engineering in Medicine and Biology,
 Seattle, Washington (U.S.A.), November 1989.
- [HAB 81] : A. HABCHI
 "Intégration du contrôle d'un robot par un opérateur humain",
 Thèse de Docteur Ingénieur, U.S.T.Lille1, 8 Mai 1981.
- [HAY 81] : P. HAYES, E. BALL, R. REDDY
 "Breaking the Man-Machine Communication Barrier",
 Computer, pp. 19-30, Mars 1981.
- [HEE 79] : E. HEER, A. K. BEJCZY, U. REMBOLD
 "Control of robots manipulators for handling and assembly in space",
 2nd IFAC/IFIP Symposium, Stuttgart 1979.

- [HYT 88a] : S. HAYAT, A. GUERROUAD, P. VIDAL, J. C. HACHE
 "La robotique et la microchirurgie",
 Lettre de l'informatique médicale: EC2,
 Nanterre, Fevrier 1988.
- [HYT 88b] : S. HAYAT, A. GUERROUAD, P. VIDAL, J. C. HACHE
 "Adaptation des proximètres opto-électroniques à
 l'élaboration d'un module de contrôle/sécurité et d'aide
 à la microtélémanipulation",
 4^{ème} Forum des jeunes chercheurs, Paris, 25 Mai 1988.
- [JOH 80] : G. JOHANNSEN, T. GOVINDARAJ
 "Optimal Control Model Predictions of System Performance
 and Attention Allocation and the Experimental Validation
 in a Display Design Study", IEEE Transactions on Systems,
 Man and Cybernetics, SMC-10, n°5, 1980.
- [KLE 71] : D. L. KLEINMAN, S. BARON, W. H. LEVISON
 "A Control Theoretic Approach to Manned-Vehicle
 Systems Analysis", IEEE Transactions on Automatic
 Control, AC-16, n°12, December 1971.
- [KNA 83] : A. KNAEUPER
 "A Rule-Based Model of Human Problem Solving Behavior
 in Dynamic Environments", M. SC. Thesis in Industrial
 Engineering, Georgia Institute of Technology,
 USA, August 1983.
- [KOL 89] : C. KOLSKI
 "Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces
 graphiques Homme-Machine dans les procédés
 industriels: Application au système expert SYNOP,
 Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du
 Hainaut-Cambrésis, 30 Janvier 1989.
- [LAN 75] : N. LANE, M. I. STRIEB, GLENN, R. J. WHERRY
 "The Human Operator Simulator", Naval Air Development
 Center, Warminster, Pennsylvania, USA, 1975.
- [LEP 84] : B. LEPERS, C. DIAZ, A. GUERROUAD, P. GRAVEZ
 "Système superviseur et allocations dynamiques des
 tâches", Journées A.R.A. (Automatique et Robotique
 Avancée), Besançon, 1984.

- [LEV 80] : W. H. LEVISON
"A Model-Based Technique for Predicting Pilot Opinion Ratings for Large Commercial Transports",
AIAA paper n°80-1573, 1980.
- [LIC 60] : J. C. R. LICKLIDER
"Man-Computer Symbiosis",
IEEE Transactions, HFE vol. 1, pp. 4-11, March 1960.
- [LIE 79] : A. LIEGEOIS, E. DOMBRE
"Analyse de robots industriels: relations entre structure, performances et fonctions",
rapport IRIA n° 79102, Montpellier 1979.
- [LOP 84] : P. LOPEZ, J.-N. FOULC
"Introduction à la robotique",
Volume 1 et 2, Editests, 1984.
- [MAL-MIL 87] : N. MÀLVACHE, P. MILLOT, F. GRZESIAK,
D. WILLAEYS
"Human-machine cooperation in cognitive task",
2nd Occupational Ergonomics Symposium.
Applied Methods in Ergonomics,
Zadar, Yugoslavia, April 1987.
- [MAN 86] : C. MANGEOT, R. FOURNIER
"Planification et configuration en téléopération Avancée",
Rapport interne CEA/UGRA 267/86, Juin 1986.
- [McR 57] : D. T. Mc RUER, W. S. KRENDEL
"Dynamic Response of Human Operators",
Wright-Patterson AFB, WADC-TR-56-524, Ohio, USA, 1957
- [McR 65] : D. T. Mc RUER, D. GRAHAM, W. S. KRENDEL,
W. Jr. REISENER
"Human Pilot Dynamics in Compensatory Systems Theory,
Models and Experiments with Controlled Element and
Forcing Function Variations", Wright-Patterson AFB,
AFFDL-TR-65-15, Ohio, USA, 1965.

- [MIL 87] : P. MILLOT
"Coopération Homme-machine dans les tâches de supervision des procédés automatisés",
Thèse de Docteur ès Sciences,
Université de Valenciennes, 16 Septembre 1987.
- [MIL 82] : R. H. MILLER, M. L. MINSKY, D. B. SMITH
"Automation, Robotics and Machine Intelligence Systems",
Vol. 2: Space projects overview- Phase 1 : Final report
NASA CR 162080 - MIT/MSFC, 1982.
- [MIN 75] : M. MINSKY
"A Framework for Representing Knowledge",
Psychology of Computer Vision, P. H. Winston,
McGraw-Hill, New-York, USA, 1975.
- [MUR 79] : R. MURALIDHARAN, S. BARON
"DEMON: A Human Operator for Decision Making,
Monitoring and Control", Procedures of the Fifteenth
Annual Conference on Manual Control,
Wright-Patterson AFB, Ohio, USA, 1979.
- [NOR 82] : D. A. NORMAN
"Steps toward a cognitive Engineering Design Rules Based
on Analyses of Human Factors in computer systems",
PP. 378-382, 15-17 Mars 1982.
- [PAT 79] : K. R. PATTIPATI, A. R. EPHRATH, D. L. KLEINMAN
"Critical Review and Analysis of Performance Models
Applicable to Man Machine Systems Evaluation",
BBN Report n°3446, Cambridge, MA, USA, Mach 1979.
- [RAS 80] : J. RASMUSSEN
"The Human as a Systems Component",
Human Interaction with Computers, H. T. Smith and
T. R. G. Green, Academic Press, 1980.
- [ROG 80] : D. ROGER, P. MILLOT, N. MALVACHE
"Ergonomie et robotique: le problème du dialogue
Homme/Robot",
Carrefour sur la robotique industrielle, Lyon, Juin 1980

- [ROU 73] : W. B. ROUSE
"A Model of the Human in a Cognitive Prediction Task",
IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,
SMC-3, n°5, Sept-Oct. 1973.
- [ROU 76] : W. B. ROUSE
"A Model of the Human as a Suboptimal Smoother",
IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,
SMC-6, n°5, Sept-Oct. 1976.
- [ROU 77] : W. B. ROUSE
"A Theory of Human Decision Making in Stochastic
Estimation Tasks", IEEE Transactions on Systems,
Man and Cybernetics, SMC-7, n°4, July-Aug. 1977.
- [ROU 81] : W. B. ROUSE
"Human-Computer Interaction in the Control Dynamic
Systems", Computing Surveys, vol. 13, n°1, March 1981.
- [ROU 82] : W. B. ROUSE
"Models of Human Problem Solving: Detection, Diagnosis,
and Compensation for System Failures",
Procedures of IFAC Conference on Analysis, Design,
Evaluation of Man-Machine Systems, Baden-Baden,
Germany, September, 1982.
- [SHA 49] : C. E. SHANNON
"The mathematical Theory of Communication",
The University of Illinois Press, Urbana, 1949.
- [SCK 77] : R. C. SCHANK, R. P. ABELSON
"Scripts, Plans, Goals, and Understanding",
Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey, USA, 1977.
- [SHE 74] : T. B. SHERIDAN, W. R. FERRELL
"Man-Machine Systems: Information, Control, and Decision
Models of Human Performance",
MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1974.
- [SHE 76] : T. B. SHERIDAN
"Toward a general model of supervisory control",
Monitoring Behavior and Supervisory Control,
pp. 271-281, Plenum, New York, 1976.

- [SHE 78] : T. B. SHERIDAN
"Human/Computer Control of undersea Teleoperators",
International Conference on cybernetics and society,
Tokyo 1978.
- [SHE 84] : T. B. SHERIDAN
"Supervisory Control of Remote Manipulators
Vehicles and Dynamic",
Proc. in advances in Man-Machine Systems ,
Vol.1, PP. 49-137, JAI Press, 1984.
- [SMI 81] : S. L. SMITH
"Exploring Compatibility with words and pictures",
Human Factors, vol. 23, n°3, pp. 5-13, Budapest, 1981.
- [SOU 74] : D. SOULATGES
"Théorie des Questionnaires: Modélisation de la charge
mentale d'un pilote", ONERA, note technique n°230, 1974.
- [SOU 76] : D. SOULATGES
"Prise en compte de certains facteurs ergonomiques lors
de la modélisation du comportement du pilote",
BIOMECA II, Conférence, Toulouse, 1976.
- [SOU 78] : D. SOULATGES
"Simulations de la stratégie à long terme d'un pilote en vol
IFR", ONERA, Rapport Intermédiaire n°18/5122 SY, 1978.
- [SOU 79] : D. SOULATGES
"Introduction des notions d'apprentissage et
d'auto-adaptation dans un programme de simulation du
comportement de pilote humain",
ONERA, Rapport Intermédiaire n°22/5122 SY, 1979.
- [STR 83] : J. P. STROMBONI
"Étude d'une assistance à l'opérateur humain par
adaptation de l'interface Homme/Machine
sur un exemple de télémanipulation",
Thèse de 3ème Cycle, Orsay 1983.
- [TES 84] : C. TESSIER
"MESSAGE: Un outil d'analyse ergonomique de la gestion
d'un vol", Thèse de Docteur Ingénieur,
Toulouse, Decembre 1984.

[THI 85] : D. THIBAUD

"Analyse automatique de la fatigue lors d'un travail sur micromanipulateur",
Rapport de DEA, U.S.T.Lille1, 1985.

[VAS 82] : C. VASSEUR

"La notion d'évènement dans les systèmes dynamiques: detection, classification temps reel et application à la conception d'une instrumentation distribuée",
Thèse de Docteur Es-sciences, USTLille1, 1982.

[VER 81] : J. VERTUT

"The MAT-1: A Computer Enhanced Remote Manipulator for Severely Handicaped Operators", Procedures 4th, Romansy, pp. 256-268, Zaborow, 8-12 September 1981.

[VID 88] : P. VIDAL, J.C. HACHE, S. HAYAT, A. GUERROUAD, B. LEPERS

"Un microtélémanipulateur chirurgical applicable en neurologie et en ophtalmologie", Journées Techniques de la productique hospitalière, Marseille, France, 27-28 Octobre 1988.

[WAN 76] : J. C. WANNER

"Introduction à l'étude d'un modèle mathématique de pilote", BIOMECA II, Conférence Toulouse, 1976.

[WOR 78] : D. B. WORTMAN, S. D. DUKET, D. J. SEIFERT, R. L. HANN, G. P. CHUBB

"Simulation Using SAINT: A User-Oriented Instruction Manual", Wright-Patterson AFB, AMRL-TR-77-61, Ohio, USA, July 1978.

ANNEXES

ANNEXE 1**CARTE DE SYNTHESE VOCALE****PRESENTATION**

La carte de synthèse SVT02 se présente sous la forme d'une carte au format Multibus INTEL (IEEE 796).

La gestion des diverses fonctions de la carte est assurée par un microprocesseur 8085. La mémoire programme utilisée par le 8085 comprend:

- 3 x 16K Octets (EPROM 27128)
- 8K Octets RAM statique (5564)

Un PCI 8251 permet le dialogue sur une ligne V24.

La fonction synthèse vocale est assurée par un synthétiseur à prédiction linéaire SPD 186, développé par le CNET. Ce synthétiseur utilise des données stockées dans la zone mémoire dictionnaire, constituée de 10 EPROM 2764, soit 8K x 80 bits.

UTILISATION DE LA CARTE**1- Protocole Maître-Esclave**

a)- Par la ligne série: La transmission se fait en mode asynchrone, la vitesse de transmission est programmable par strap de 75 à 9600 bauds.

Le format de transmission est le suivant:

1 bit		1 bit
START	8 bits données	STOP

La transmission maître- esclave se fait sur interruption.

MODES DE FONCTIONNEMENT

La carte esclave SVT02 peut fonctionner dans 4 modes:

Mode commande: Il permet l'envoi de commandes vers la carte SVT02 et la réception de compte-rendus ainsi que le passage dans les autres modes. Toute commande dans ce mode est terminée par le caractère <RETURN> (code ASCII 0DH).

Mode transparent: Il permet de dialoguer directement entre le maître et une télétype, lorsque le maître est connecté sur le multibus et la télétype sur la ligne série de la carte SVT02.

Mode texte orthographique: C'est le mode par défaut (à l'initialisation). Il permet la synthèse vocale de textes orthographiques que le maître envoie à la carte sous forme de flots de 600 caractères au maximum, terminés par un délimiteur sélectable.

Mode texte phonétique: Synthèse vocale de textes en codage phonétique, sous forme de flots de 600 caractères au maximum, terminés par un délimiteur sélectable.

Remarques: A tout moment on peut repasser en mode commande par l'envoi du code <ESC> (code ASCII 1BH).

A tout moment, on peut réinitialiser la carte esclave et repasser de fait en mode commande par l'envoi du code:

<CNTRL E> ou <ENQ> : 05H

LISTE DES COMMANDES

a) Caractères de contrôle accessibles en mode texte ou mode commande

1BH <ESCAPE>	: passage en mode commande
05H <ENQ> ou <CNTRL E>	: réinitialisation
11H <CNTRL Q>	: déblocage clavier/visu *

13H <CNTRL S>	: blocage visu (plus d'écho) *
14H <CNTRL T>	: blocage sortie vocale
12H <CNTRL R>	: déblocage sortie vocale si blocage par CNTRL T., répétition phrase sinon
18H <CNTRL X>	: arrêt définitif processus vocal en cours
17H <CNTRL W>	: introduction checksum en fin de commande (optionnel)
0AH <LINEFEED>	: délimiteur par défaut en mode texte. Ignoré en mode commande.
0DH <RETURN>	: fin de bloc en mode texte (ne provoque pas la sortie vocale si <RETURN> n'a pas été choisi comme délimiteur. : fin de commande en mode commande.
02H <CNTRL B>	: entrée rapide en mode texte sans réinitialisation buffer texte. (permet d'envoyer une commande vitesse en mode texte).

* Commandes non accessibles depuis le MULTIBUS.

DESCRIPTION DETAILLEE DES COMMANDES

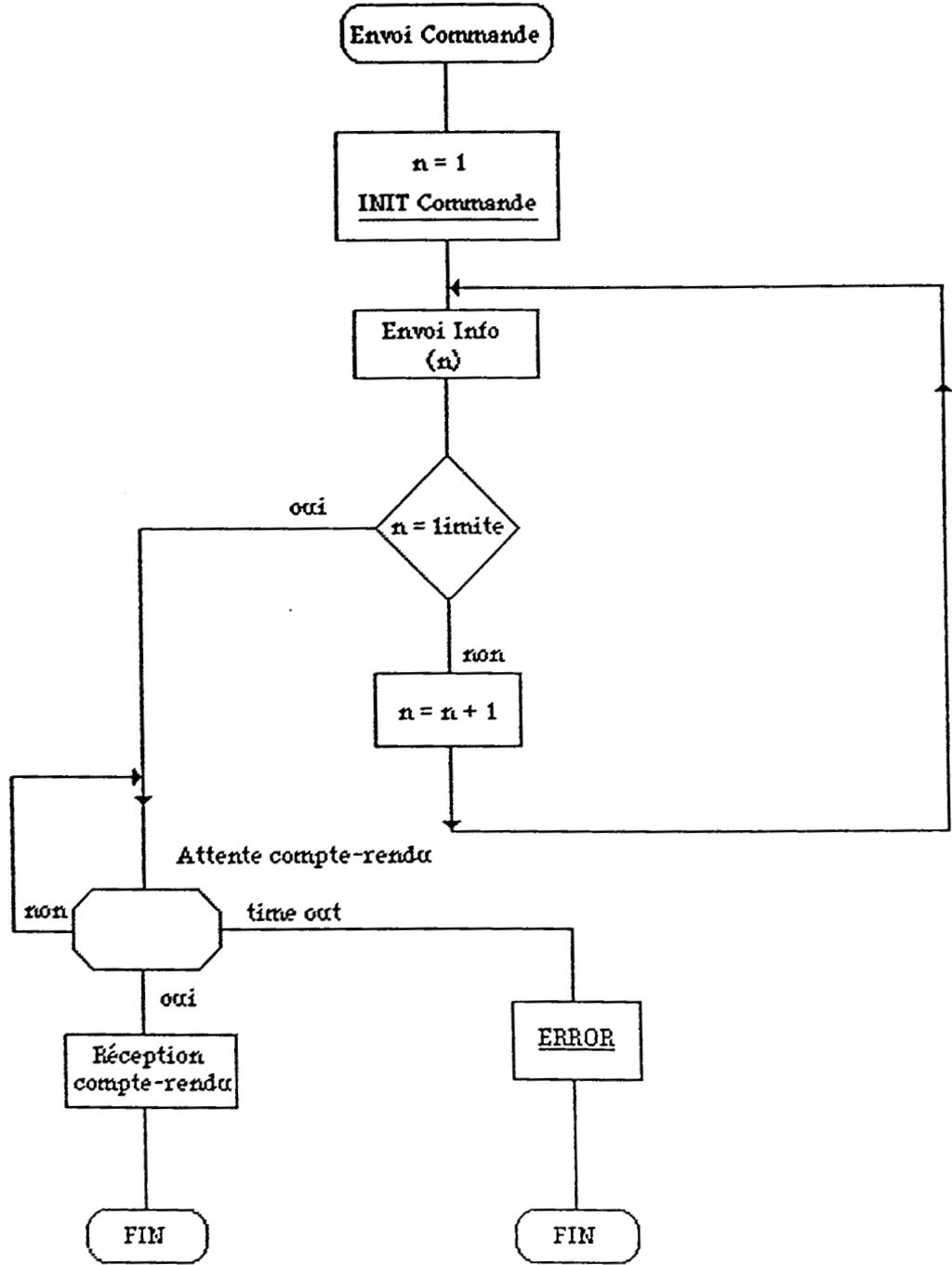
1-Commandes générales

Une commande se compose de 2 caractères ASCII, suivis éventuellement d'un chiffre décimal. Elle se termine par le caractère RETURN. La carte SVT02 renvoie ensuite un compte-rendu.

a)-Répétition phrase type 1

Format	: CA<chif><RET>	Provoque la sortie vocale des phrases préenregistrées (0-7).
Compte-rendus	: XACK XGARDE	Bien compris Opération partiellement effectuée.
' autre '		Autre code d'erreur.

CARTE MAITRE



Remarques: La phrase type est stockée soit sous forme de texte orthographique, soit sous forme phonétique.

Chif = 0 ' VOL 730 A DESTINATION DE RIO... '
 Chif = 1 ' LE NUMERO '
 Chif = 2 ' LA SOCIETE OPTION '

1ère étape: Transfert vers le buffer d'entrée vocale.

2ème étape: Transfert buffer phonétique et conversion ortho/phon. si texte orthographique.

Si cette étape s'est avérée impossible à effectuer (sortie vocale en cours), le coupleur délivre le status : XGARDE.

On peut poursuivre par la commande de répétition du buffer d'entrée vocale.

3ème étape: Calcul de la prosodie et sortie vocale (si la sortie a été inhibée par la commande CS1<RET>, aucun son ne sera produit).

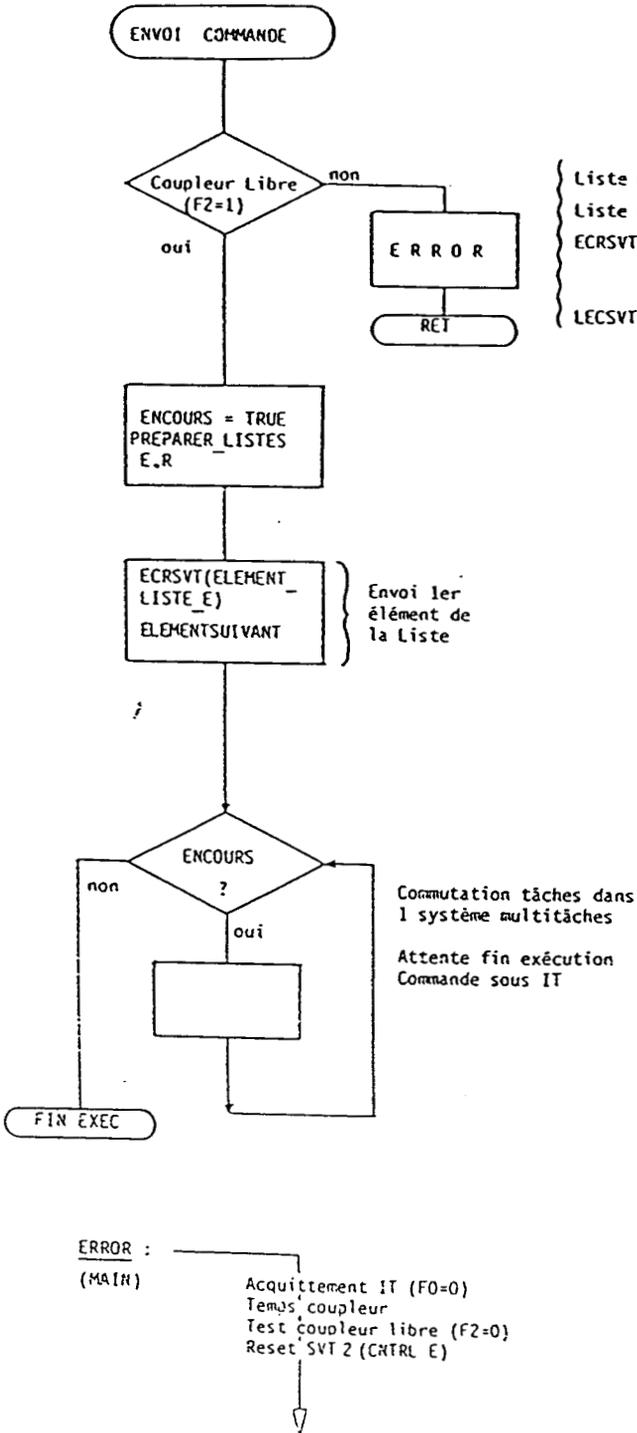
b)-Suppression d'un délimiteur

Format : CB<RET> ou
 CB [X] <RET> où [X] est un code ASCII
 00-7F sauf <0AH>: LINEFEED
 <0DH>: RETURN

Action : Suppression du délimiteur texte [X] dans la table des délimiteurs.

CARTE MAITRE

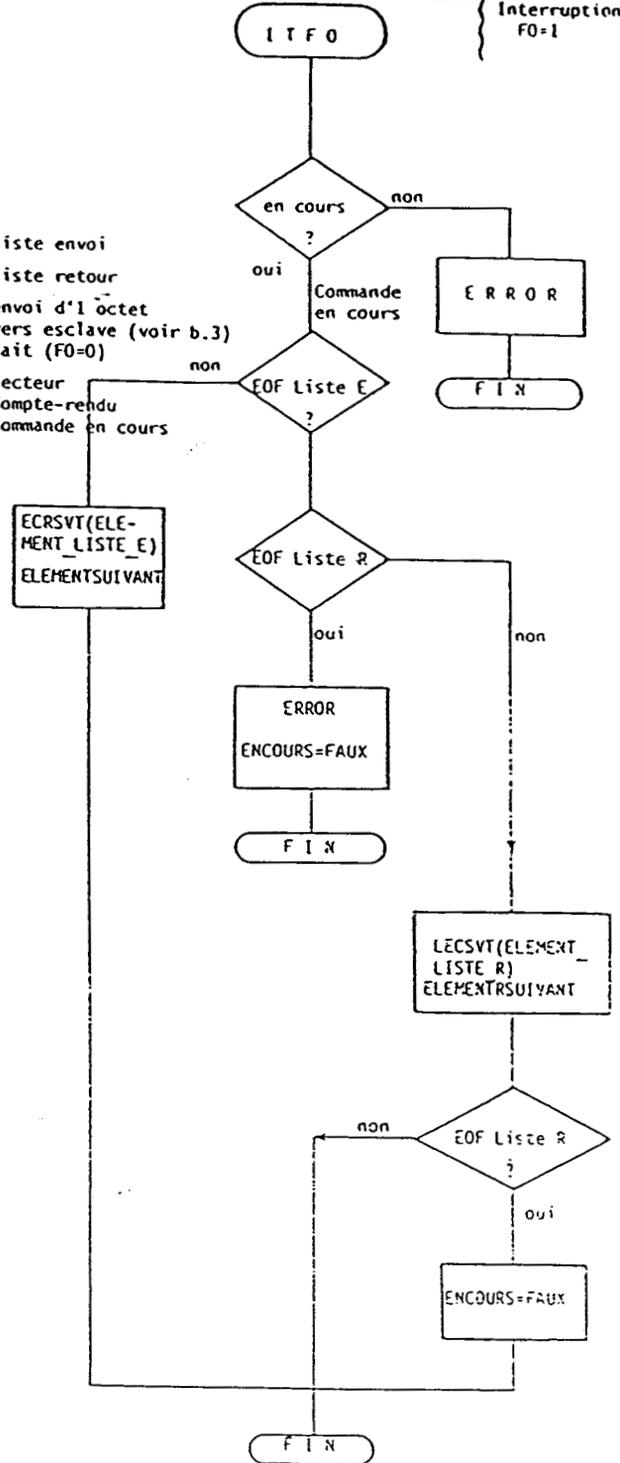
Programme Principal



Sous-programme d'interruption

Interruption F0=1

Liste E : liste envoi
 Liste R : liste retour
 ECRSVT : envoi d'1 octet
 vers esclave (voir b.3)
 Fait (F0=0)
 LECSVT : lecteur
 Compte-rendu
 Commande en cours



Si aucun paramètre n'est passé dans cette commande, <RET> est pris comme délimiteur à supprimer.

Remarque Le délimiteur <LINEFEED> est le délimiteur par défaut. Il ne peut être supprimé.

Compte-rendus: XACK	Bien compris
'autre'	Autre code d'erreur.

Format avec checksum: CB<CNTRL W>'85'<RET> ou
CB<X><CNTRL W><H1><H2><RET>

où H1 et H2 correspondent à la représentation ASCII hexadécimale du checksum calculé comme la somme des octets:
'C' + 'B' + [X] sur 8 bits'

Exemples: 'CB.<CNTRL W>'B3'<RET>
'CB;<CNTRL W>'C0'<RET>

c)-Suppression de tous les délimiteurs texte

Format : CC<RET>	Suppression de tous les délimiteurs texte de la table des délimiteurs sauf <LIFEED> : délimiteur permanent.
------------------	---

Compte-rendus: XACK	Bien compris
XGARDE	Opération partiellement effectuée
'autre'	Autre code d'erreur

Format avec checksum: CC< CNTRL W>'86'<RET>

ANNEXE 2**CARTE DE RECONNAISSANCE VOCALE****I - FICHE D'IDENTIFICATION DE LA CARTE RMI 88**

- Nombre de références : 65, 125 ou 250
- Longueur des références : 200 ms à 2 s
- Passe d'apprentissage : 1
- Temps de reconnaissance : < 110 ms pour 25 mots
< 400 ms pour 100 mots
< 1 s pour 250 mots

- Taux de réussite : > 99 %
- Nombre de filtres : 8
- Nombre de paramètres ajustables : 4
- Entrées Audio : Micro 1 mV sur 300 K
Auxiliaire 150 mV sur 50 K

- Mémoire RAM : 32 K
- Mémoire REPRM : 16 K
- Processeur : 8088
- Alimentation : +5V \square 5% 1,6 A
+12V \square 5% 0,5 A
-12V \square 5% 0,5 A

- Caractéristiques Mécaniques : Largeur= 30,48 cm
Longueur= 17,15 cm
Epaisseur= 1,65 cm
Poids= 0,4 Kg

- Domaine d'utilisation : Matériel à usage civil.
Température : 0,85 °C
Hygrométrie : < 85 %

II - PROTOCOLE DE LA LIAISON SERIE

Le format type d'une commande et d'une réponse est le suivant:

COMMANDE:

UTILISATEUR ----> RMI 88

<STX> < caractère spécifiant la commande > < données > <ETX>

REPONSE:

RMI 88 ----> UTILISATEUR

soit < code > < CR >

soit < texte > < CR >

CHOIX DE LA VARIABLE N

Cette commande signale à la carte sur quel numéro de mot portera la commande suivante. Sa syntaxe est la suivante:

Commande utilisateur:

<STX> <N> < numéro du mot en décimal > <ETX>

Réponse RMI 88:

<code> < CR >

CHARGEMENT DE L'ETIQUETTE

A chaque mot identifié par un numéro compris entre 1 et 240, il est possible d'associer une étiquette. L'étiquette est un mot écrit, dont la longueur est de 4 caractères.

Commande utilisateur:

<STX> <E> < étiquette > <ETX>

Réponse RMI 88:

< CR >

APPRENTISSAGE DU MOT N

Cette commande permet de ranger la référence acoustique du mot N. L'utilisateur envoie la syntaxe, puis énonce distinctement le mot dans le micro. C'est sur cet enregistrement que se fait ensuite la comparaison lors de la reconnaissance.

Commande utilisateur:

<STX> <A> <ETX>
prononcer le mot dans le micro

Réponse RMI 88:

< code > < CR >

SAUVEGARDE DE LA REFERENCE ACOUSTIQUE

Cette commande permet d'accéder au contenu de la référence acoustique des mots enregistrés. A la suite d'une phase d'apprentissage satisfaisante, on sauvegarde toutes les références sur fichier.

Commande utilisateur:

<STX> <S> <ETX>

Réponse RMI 88:

< texte > <&> < CR >

CHARGEMENT DE LA REFERENCE ACOUSTIQUE

Cette commande réalise l'opération inverse de la commande sauvegarde. Elle permet de charger en mémoire, la référence acoustique des mots, que l'on a sauvé sur un fichier.

Dans cette commande, c'est la carte qui effectue le contrôle de la transmission des caractères. Le numéro du code renvoyé à la dernière réponse renseigne sur l'état de la transmission.

Commande utilisateur:

<STX> <C> <ETX>

Réponse RMI 88:

< CR >

<STX> < texte > <&> <ETX>

< CR >

<STX> < texte > <ETX>

< code > < CR >

RECONNAISSANCE EN MICRO COMMANDE

Dans ce mode, la carte RMI 88 effectue une seule reconnaissance. Il faut renvoyer la commande avant chaque mot prononcé. La réponse renvoyée par la carte ne donne pas l'étiquette.

Commande utilisateur:

<STX> <R> <ETX>

Réponse RMI 88:

< code > <SP> < numéro du mot reconnu en décimal > <SP> < note en décimal > < CR >

RECONNAISSANCE EN MICRO OUVERT

Cette commande est émise une seule fois, et elle reconnaît les mots les uns à la suite des autres. Pour sortir de cette commande, il suffit d'envoyer une nouvelle commande.

Commande utilisateur:

<STX> <O> <ETX>

Réponse RMI 88:

< etiquette > < CR >

CHOIX DE LA SYNTAXE

Cette commande permet d'autoriser ou d'interdire la reconnaissance d'un sous-ensemble du vocabulaire.

Commande utilisateur:

<STX> <X> < syntaxe > <ETX>

Réponse RMI 88:

< CR >

Remarque: < syntaxe > est une suite de caractères ASCII représentant une chaîne d'éléments binaires respectivement associés aux références 1, 2, 3, ...

Element binaire = 0 ---> masquage du mot associé

Elément binaire = 1 ---> validation du mot associé

ANNEXE 3**PROTOCOLE D'ECHANGE SUR LIAISON SERIE****1-DEFINITION DU PROTOCOLE**

Le but du système de communication à réaliser est la transmission rapide et fiable de messages courts entre plusieurs calculateurs reliés au moyen de liaisons série asynchrones.

En fonctionnement normal, le protocole proposé a la forme suivante:

	EMETTEUR	RECEPTEUR
<u>phase d'ouverture</u>	demande de transmission DDT ----> <---- ADT autorisation de transmettre	
<u>phase d'échange</u>	message M ---->	
<u>phase de fermeture</u>	fin de message FDM ----> <---- V validation du message reçu	

2-REMARQUES GENERALES

1) Afin d'éviter toute perte de synchronisation lors de l'échange, il y a nécessité d'interdire l'interruption des processus communicants au terme de la phase d'ouverture.

2) Les impératifs de vitesse et de fiabilité supposent pour chaque correspondant l'utilisation de tampons d'émission et de réception ainsi que le recours en réception à des routines d'interruption.

3-FIABILITE

Les types de dégradation de la voie susceptibles d'être rencontrés sont:

- la coupure de la liaison;
- le bruitage des informations transmises.

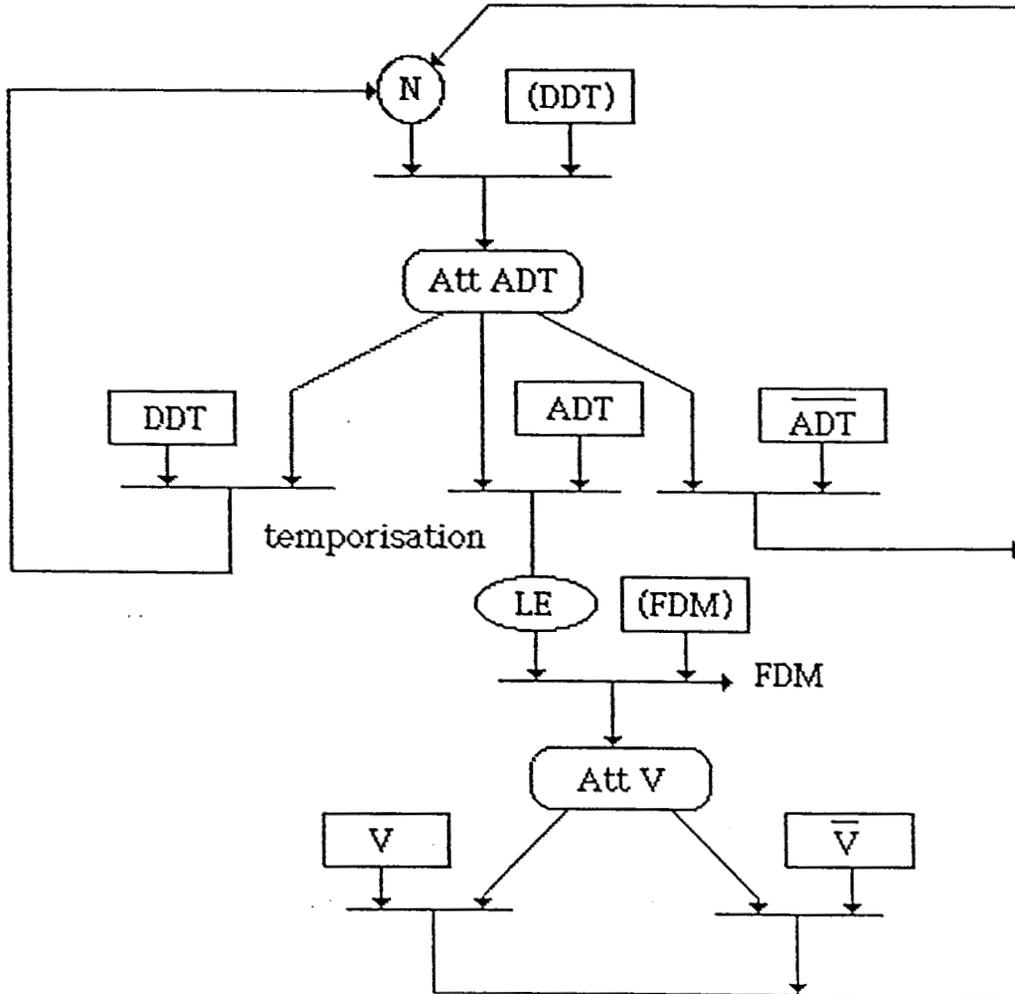
Lors de l'échange, la fonction de détection d'erreur est réalisée par le récepteur (contrôle de parité) qui valide ou non (V ou V) le message reçu. La prise en compte de ce message par le processus récepteur n'a lieu qu'après la validation, d'où la nécessité d'un tampon de réception. L'émetteur pour sa part, conserve une copie du message dans son tampon d'émission, qui sera retransmise si l'échange initial se cloture sur V.

Concernant la fiabilité du système de communication, les moments critiques pouvant déboucher sur des situations d'interblocage sont les phases d'ouverture et de fermeture. Malheureusement, les procédures d'entrée/sortie implantées sur les mini et micro ordinateurs usuels ne permettent pas la gestion des signaux de service, et ce, d'autant moins que, dans le cas qui nous intéresse, cette gestion est tributaire de l'état des processus communicants (priorité des tâches en cours d'exécution, état des tampons d'entrée/sortie). Nous avons ainsi choisi de nous orienter vers un protocole pouvant être supporté par une liaison 3 fils, restant conscient, cependant, de ce que l'unique moyen satisfaisant de traiter les cas de coupure reste l'utilisation d'une ligne détection de porteuse.

Pour conclure sur cet aspect de la liaison, il est essentiel de remarquer que les caractères de contrôle pouvant être bruités lors de la transmission, leur multiplication va de pair avec le nombre de situations critiques susceptibles de se produire. IL importe donc de concevoir un schéma de synchronisation capable d'éviter les cas de blocage les plus évidents tout en restant aussi simple que possible.

4-DESCRIPTION DU PROTOCOLE

Le protocole proposé en proposé en première approche est décrit en figure 3-1



N : état neutre
 Att ADT : attente de ADT
 Att V : attente de V

LE : liaison établie
 (DDT) : décision d'envoyer DDT
 (FDM) : décision d'envoyer FDM

Figure 3-1: Emetteur

Le rôle de la temporisation indiquée sur le graphe est, lors d'un conflit entre 2 processus qui envoient simultanément une DDT, de replacer chacun

d'eux dans l'état neutre après un délai différent, le processus affecté de la plus courte temporisation ayant alors priorité sur l'autre.

5-ADAPTATION AUX LIAISONS SERIE ET ETUDE DE LA FIABILITE

Avec les contraintes adoptées (liaison 3 fils), les signaux de synchronisation sont des caractères ASCII susceptibles d'être déformés lors de la transmission (cf. Tableau 1).

Signaux de synchro	Significations	Caractères correspondants
DDT	Demande de transmission	TXR
ADT	Autorisation de transmettre	ACK
$\overline{\text{ADT}}$	Non Autorisation de transmettre	NACK ou tout caractère différent de ACK
FDM	Fin de message	EOT
V	Validation	ACK
$\overline{\text{V}}$	Non validation	NACK ou tout caractère différent de ACK

Tableau 1: Correspondance des signaux de synchronisation/caractères ASCII

Pour les signaux ADT et V, nous avons choisi d'utiliser un unique caractère ACK ; de même, les signaux $\overline{\text{ADT}}$ et $\overline{\text{V}}$ seront représentés par un caractère NACK aussi différent que possible de ACK (variation de plusieurs bits). En adoptant le principe de faire interpréter tout caractère différent de ACK reçu par le processus émetteur en état AttADT ou AttV comme signal ADT ou V, on obtient une bonne résistance de ADT/V. Il faudrait en effet une dégradation considérable de la voie de communication pour qu'un signal

ADT/V soit modifié au point d'être compris comme ADT/V. On admettra dans la suite que ADT/V est insensible au bruitage.

Avec cette hypothèse, l'étude de la fiabilité met en évidence 2 cas d'interblocage:

1)-Situation A: Déformation du signal FDM

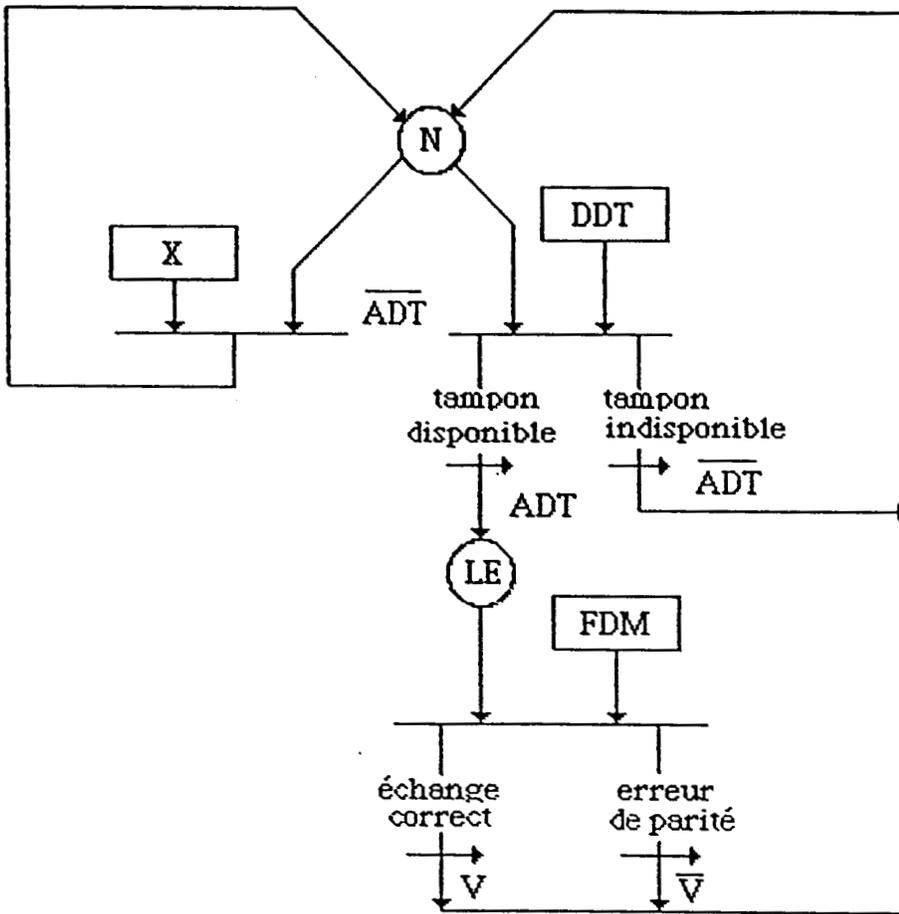
Le processus récepteur reste bloqué en réception tandis que l'émetteur attend V ou \bar{V} .

2)-Situation B: Bruitage de ADT interprété par le processus émetteur comme ADT

L'émetteur tente un nouvel échange et envoie DDT que le récepteur va considérer comme le premier caractère du message. Par la suite, les 2 processus sont bloqués, l'émetteur en attente de ADT ou \bar{ADT} , le récepteur en attente de la suite du message.

La solution adoptée pour éviter les cas d'interblocage signalés passe par la mise en oeuvre sur le récepteur d'un chien de garde $\bar{W}g$. Avec un délai de garde supérieur à la durée maximale d'un échange. $\bar{W}g$ est armé après l'émission du signal ADT et sa chute décide de l'envoi du caractère NACK. Dans la situation A, l'émetteur interprète NACK comme un signal V et les deux processus reviennent à l'état neutre comme après un échange invalide. Avec la situation B, NACK est compris comme ADT et on retrouve de nouveau un état neutre, cette fois comme après une tentative d'échange avortée.

La représentation du protocole côté récepteur avec chien de garde est donnée figure 3-2.



X désigne un signal quelconque différent de DDT

Figure 3-2: Récepteur...

ANNEXE 4

CARACTERISTIQUES DES CAPTEURS UTILISES

Les capteurs utilisés sont des capteurs infra-rouge à fibres optiques dont les avantages sont:

- encombrement minimum (diamètre de l'ordre de 1 mm)
- efficacité de détection sur de faibles portées (0 à 20 mm)
- ne présente aucun danger car il n'y a pas de contact direct avec l'œil.

Le principe de fonctionnement de ces capteurs est résumé par le synoptique figure 4-1.

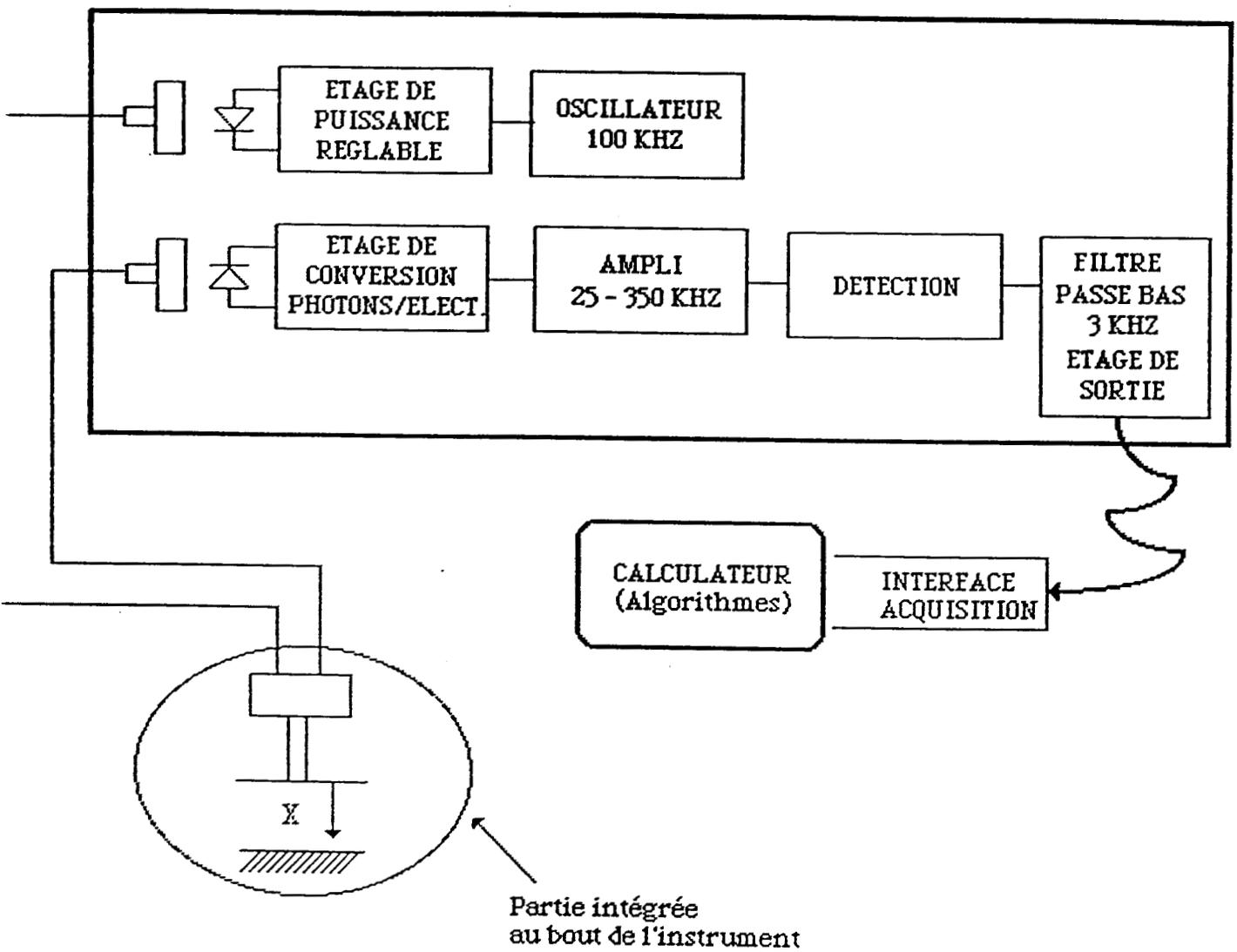


Figure 4-1: Schéma synoptique de principe

